

УДК.687.17:620.17

МОДЕЛЬ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПАКЕТАХ ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ В РАМКАХ ОПИСАННЯ КОМФОРТНОСТІ

Н.П.Супрун, Г.В. Щуцька

Київський національний університет технологій та дизайну

З урахуванням основних вимог до комфортності одягу та взуття, в рамках описання динамічних процесів у пористій структурі матеріалів, запропонована модель протікання газу, рідини або їх суміші.

Ключові слова: *комфортність одягу та взуття, модель тепломасообміну, пористе середовище*

Науково обґрунтований раціональний вибір матеріалів у пакети одягу та взуття різного призначення – актуальна проблема сучасного матеріалознавства. Поняття «комфортність» включає три складові – термофізіологічний, нейрофізіологічний і психофізіологічний комфорт. Якщо поняття психофізіологічного комфорту дуже суб'єктивне і визначається, в основному, особистим сприйняттям людини, то дві інші складові комфорту можуть бути досить об'єктивно заміряні та оцінені. Нейрофізіологічний комфорт визначається механозалежними відчуттями при контакті тіла людини з матеріалами одягу та взуття (жорсткість, шорсткість і т.п.). Термофізіологічний комфорт характеризує забезпечувану за рахунок одягу та взуття можливість організму пристосовуватися до змін у навколишнім середовищі з метою підтримки більш-менш постійної температури і вологості шкіри, а також забезпечення нормального шкіряного дихання.

Основними факторами комфортності одягу та взуття є взаємодія процесів переносу вологи і тепла. Вирішальним для цього можна вважати перепад температур на внутрішньому та зовнішньому сторонах пакету, а також зміну відносної вологості при переносі вологи через певну кількість шарів матеріалів.

Постановка завдання

Метою даної роботи є аналіз взаємовпливу факторів, які визначають комфортність одягу та взуття і побудова моделей протікання процесів тепло- і вологопереносу у пакетах матеріалів для їх виготовлення.

Об'єкти та методи досліджень

Неоднозначність висновків експериментальних робіт, присвячених проблемам переносу вологи і тепла через пористі матеріали, та залежність отриманих результатів

від умов досліду, призводять до необхідності створення адекватних фізичних моделей. Спроможність цих моделей описати різноманітний вибір тканин та шкір (за показниками, насамперед, гігроскопічності і структури), а також будь-які зміни умов переносу вологи (маси) і тепла, визначаються трьома основними чинниками:

1. використанням фундаментальних рівнянь зберігання (балансу) маси, внутрішньої енергії (тепла) і імпульсу (конвективний перенос);
2. застосуванням реальних (підтверджених відповідними експериментами) початкових і граничних умов;
3. наявністю коректних даних по коефіцієнтах переносу, отриманих експериментальним шляхом або за допомогою теоретичних оцінок.

Результати та їх обговорення

Пакети матеріалів одягу та верху взуття, які складаються із декількох шарів матеріалів та повітряних прошарків між ними, ми пропонуємо представити у вигляді моделі оболонки (рис.1).

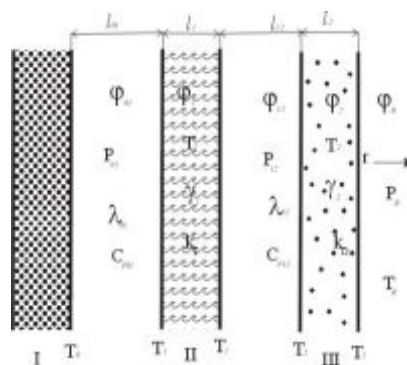


Рис1. Умовна схема моделі оболонки

I – зовнішній шар шкіри тіла людини із заданою середньою температурою поверхні T_0 ; **II** – перший, шар пакету з температурою T_1 , ізотермічною стискальністю K_{T1} , коефіцієнтом дифузії вологи γ_1 ; **III** – зовнішній шар пакету з заданою температурою T_2 , ізотермічною стискальністю K_{T2} , коефіцієнтом дифузії вологи γ_2 ; C_{p01} C_{p02} – ізобарні теплоємності; λ_{01} , λ_{12} – коефіцієнти теплопровідності прошарків вологого повітря; (φ_B, P_B, T_B) – задані параметри зовнішнього середовища.

Така модель відноситься до відкритого, найбільш поширеного, типу модельних рівноважних систем, в яких, шляхом обміну з навколишнім середовищем, можуть змінюватися внутрішня енергія E , повна маса M та повна ентропія S . Для площі поверхні тіла A [m^2], вкритого одягом, модель оболонки буде складатися з декількох

(або одного) шарів одягу і повітряних прошарків між ними. Шари ми будемо нумерувати послідовно від внутрішніх до зовнішнього: 1, 2, ..., а відповідні повітряні прошарки двома цифрами: 01, 12,Таким чином, при наявності двох шарів одягу загальна товщина оболонки l [м] складається з компонент:

$$l = l_{01} + l_1 + l_{12} + l_2. \quad (1)$$

У моделі оболонки, де один розмір l набагато менше двох інших (їх добуток дає наближене значення площі оболонки A), передбачена дискретизація (розбивка) повного об'єму оболонки V :

$$V \approx A(l_{01} + l_1 + l_{12} + l_2) \quad (2)$$

на суму кінцевого числа N елементарних об'ємів ΔV_i

$$V = \sum_{i=1}^N (\Delta V_{01} + \Delta V_1 + \Delta V_{12} + \Delta V_2)_i \quad (3)$$

Обґрунтований вибір елементарної площі ΔA_i , яка задає кожний з елементарних об'ємів у (3):

$$\Delta V_i = \Delta A_i (l_{01} + l_1 + l_{12} + l_2) \quad (4)$$

повинний враховувати структуру шарів 1, 2, ..., ступінь їх можливих контактів із шкірою і між собою, а також ряд інших чинників. Ця задача ускладнюється тим, що тільки товщини матеріалу l_1 , l_2 можна вважати заданими (точніше, такими що підбираються з позицій оптимальності пакету) розмірами. Всі інші геометричні параметри наближених співвідношень (1–4) є, по суті, випадковими перемінними, що коливаються нестационарним чином біля своїх середніх значень. У даному випадку природно, на нашу думку, використовувати систему нормальних (гаусових) розподілів із заданою дисперсією для кожного із повітряних прошарків l_{01} , l_{12} . Таким чином, на прикладі пакетів матеріалів для одягу, можна врахувати різноманітні рівні контактів шкіра – тканина і тканина – тканина, що реально існують при експлуатації. Кожний із шарів та прошарків у пакеті одягу виконує свої специфічні функції та характеризується своїми специфічними властивостями.

За допомогою систем рівнянь балансу маси, енергії, ентропії та імпульсу, нами досліджувалися [1, 2] динамічні процеси у багатошаровому одягу. Густина та її флуктуації для пористого середовища підодягового простору, а також мікропористість матриці враховувалися в рамках фрактального підходу із використанням подібного підходу опису тепломасообміну у моделі оболонки. Було обґрунтовано також

допущення про ізобаричність вологого повітря у прошарках l_{01} , l_{12} та ізотермічність шарів текстильних матеріалів l_1 , l_2 .

Відомо, що температура поверхневого шару шкіри коливається в невеликому діапазоні біля середнього значення порядку $T_0 \approx 310$ К. У відсутності одягу і помітної конвекції комфортною для людини є температура приміщення порядку 295 К. В умовах даної стаціонарної різниці температур $\Delta T = 15$ К тіло швидко нагріває до деякої проміжної (але близької до $T_0 \approx 310$ К) температури T_1 прошарок повітря біля шкіри l_{01} , що і забезпечує надалі відчуття комфорту. Повітря є хорошим теплоізолятором і має дуже низьке значення коефіцієнта теплопровідності, тобто, має великий термічний опір. Тепловий комфорт забезпечується підтриманням значення $\Delta T_{01} = T_0 - T_1$ на певному оптимальному рівні. Сама по собі тканина внутрішнього, білизняного шару, або матеріалу підкладки взуття, l_1 має більш високі (у середньому, на порядок) значення теплопровідності: $\lambda_1 > \lambda_{01} \cong \lambda_{\text{пов}}$.

З точки зору теплових властивостей, текстильні матеріали та натуральні шкіри можна вважати «напівпровідниками». Їх достатньо слабка здатність проводити тепло (зрозуміло, тут мова не йде про конвекцію) може помітно змінюватися у бік збільшення при зволоженні. Це відноситься і до біологічних тканин шкіри людини. Так, суха шкіра має теплопровідність $\lambda_0 \cong 0,2$ [Вт/м·К], а зволожена – значення λ_0 у два-три рази більше, оскільки, наприклад, значення теплопровідності води складає $\lambda_{\text{води}} \cong 0,56$ [Вт/м·К]. Відносна вологість ϕ_{01} повітряного прошарку l_{01} визначається, як відношення парціального тиску парів води P_{01} до тиску насиченого водяного пару P_s при даній (середній) температурі T_{01} . Виходячи з того, що відносна вологість $\phi \cong 40$ -50% вважається оптимальною для здоров'я і комфорту, і використовуючи табличні дані $P_s(T)$, неважко встановити, наприклад, інтервал необхідного парціального тиску водяного пару $P_{01} \cong (2,3-2,9)10^3$ Па (17-22 мм рт.ст.) при середній температурі повітряного прошарку $T_{01} \cong 308$ К (35°C). Регулюючим чинником тут варто вважати спроможність сукупності всіх шарів одягу або верху взуття відводити зайву вологу з прошарку l_{01} . Зрозуміло, що при проектуванні пакету одягу потрібно враховувати також вимоги нейрофізіологічного комфорту, обумовленого, в основному, механічними характеристиками шару легкого одягу l_1 .

Для забезпечення перерахованих умов комфортності в прошарку l_{01} потрібно брати до уваги: 1) умови навколишнього середовища, у яких використовуються одяг або

взуття; 2) функціональні (задані) особливості зовнішнього шару l_2 . Обидва чинники відносяться до числа необхідних умов експлуатації пакету і їх вплив на комфортність повинен або мінімізуватися (якщо він негативний), або максимально використовуватися (якщо він позитивний). Точне завдання таких параметрів, як різниця температур $T_2 - T_0$ між зовнішньою поверхнею шару l_2 і температурою навколишнього повітря, тиск і вологість цього повітря P_E і φ_E , необхідні при раціональному виборі матеріалів у пакет. Властивості функціонального шару l_2 відводити тепло і вологу в зовнішнє середовище (або, навпаки, утримувати їх, якщо це визначається умовами експлуатації) також повинні бути відомі при проектуванні одягу та взуття. Звичайно, бажано встановити ще й середній рівень рухової активності людини у такому одязі, оскільки цей чинник інтенсифікує, зокрема, тепло- і вологопродукцію із зовнішньої поверхні шкіри.

Масообмін між підодяговим простором і навколишнім середовищем через матеріали для одягу або взуття здійснюється завдяки наявності в них великого числа пор із розмірами, набагато меншими, ніж розмір самого матеріалу. Інтегральною характеристикою пористого матеріалу можна вважати пористість m , яка дорівнює (5) відношенню всього об'єму пор, заповненого флюїдом (цей термін в сучасній літературі

$$m = V_{g,l} / V = V_{g,l} / A \cdot l \quad (5)$$

використовується при описанні переносу через пористі стінки газу (g) та рідини (l) або їхньої суміші) $V_{g,l}$, до повного об'єму V . Пористість (5) не дає конкретної інформації про мікроскопічну структуру ТМ, тобто про типи та характеристики волокон, види переплетень та ін., що важливе при оцінці теплопровідності та вологопровідності (дифузії) через волокна. Інша (флюїдна або порова) складова цих процесів, які мають молекулярно-кінетичний механізм переносу, є, по-суті, конвективною (тобто конвективною теплопровідністю та дифузією). Вона визначається фіктивною швидкістю фільтрації u_ϕ флюїду через ТМ або, що те ж саме, дійсною витратою I_v [$\text{м}^3/\text{с}$] через одиницю площі A [м^2]:

$$u_\phi = I_v / A = m \cdot u, [\text{м}/\text{с}], \quad (6)$$

де u – реальна середня швидкість руху в порах.

По суті, пориста структура матеріалів робить неможливою реалізацію чисто конвективного та чисто молекулярного рухів, оскільки в першому безупинно і хаотично змінюється напрямок і величина реальної швидкості флюїду, а друге здійснюється в окремих порах і нерозривно пов'язане з першим. Іншими словами, поділ переносу на конвективну та молекулярну складові в ТМ вкрай утруднено і численні

моделі такого поділу не завжди об'єктивно враховують реальний взаємозв'язок хаотичної компоненти конвекції з хаотичним молекулярним механізмом провідності через флюїд у порах. Тому, на наш погляд, введення статистичних характеристик, типу щільності розподілу пор по розмірам $f(d)$, або фіктивної швидкості фільтрації u_ϕ замість u , виглядає, як обгрунтований крок.

Процеси масопереносу в текстильних матеріалах, які здійснюються, в основному, через наскрізні пори можуть розглядатися, як процеси фільтрації флюїду - газу, рідини або їхньої суміші через пористі середовища. Для опису процесів фільтрації газу, рідини, або їх суміші нами пропонується модель плоско-паралельних шарів (ППШ). В рамках цієї моделі характеристична товщина зразку розбивається на деяке ефективне число плоско-паралельних шарів, товщина яких дорівнює ефективному діаметру кубічної пори d ; наскрізні пори приймаються за приблизно правильні ґрати з ефективною кубічною порою. Різні комбінації взаємного розташування пор у декількох сусідніх ППШ (рис.2) моделюють випадки, коли пори або прямі, наскрізні і розташовані регулярно у кожному шарі; або зсунуті та нерегулярно розташовані в кожному з двох шарів, або є сполучення регулярної структури верхнього шару із нерегулярною структурою нижнього. В рамках цієї моделі запропоновано через значення числа пор та їх ефективну площу оцінювати пористість матеріалу з тим, щоб потім порівняти із значеннями, отриманими іншими незалежними методами оцінки.

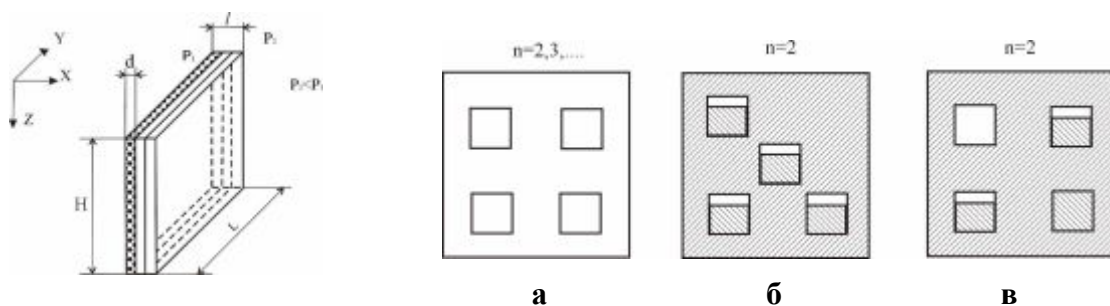


Рис. 2. Модель плоско-паралельних шарів для текстильних матеріалів
 P_1, P_2 – тиск у площинах зовнішніх граней
 Можливі варіанти взаємного розташування ефективних кубічних пор у декількох сусідніх ППШ: а) – прямі (наскрізні) квадратні капіляри і регулярна структура розташування пор у кожному з ППШ; б) – зсунуті, нерегулярно розташовані в кожному з двох ППШ, капіляри, що відбивають реальну звивистість пор; в) – сполучення регулярної структури верхнього ППШ із нерегулярною структурою нижнього ППШ

При переході із зовнішнього ППШ у внутрішній (або внутрішні) струм флюїду буде звужуватися за рахунок наявності застійних зон, а потім розширюватися на виході у зовнішньому шарі ППШ. Для такої моделі нами був виведений [3, 4] узагальнюючий

вираз: $d_{min} = \frac{5-m}{4\sqrt{2}} d_{max}$, який поєднує інтегральну (тобто таку, що характеризує весь

зразок матеріалу) характеристику ТМ – його повну пористість m , із структурними (мікроскопічними) характеристиками – інтервалом діаметрів пор (d_{min} , d_{max}), який є суттєво значущим для переносу флюїду. В межах реалістичного значення пористості:

$0 < m < 1$, найбільш імовірним значенням ефективного розміру пор d буде:

$d = \left(\frac{5-m}{4\sqrt{2}} + 1 \right) \frac{d_{max}}{2}$. Це дозволяє при моделюванні процесу протікання флюїду виражати

товщину ТМ через комбінацію мікро- та макропараметрів його структури.

Висновки

Запропоновані принципи моделювання процесів масопереносу у пористому середовищі текстильних та шкіряних матеріалів, розглянуті з урахуванням основних вимог до комфортності одягута взуття, виконані в рамках описання динамічних процесів у пористій структурі, можуть мати практичне значення для прогнозування волого- та повітропроникності пакетів одягу та взуття.

ЛІТЕРАТУРА

1. Роганков В.Б., Супрун Н.П. О некоторых особенностях и концепциях проектирования спецодежды. // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины.- 1999.- № 2.- с.215-227.
2. Супрун Н.П. Модель ізотермічного переносу флюїду через текстильні матеріали. //Вісник Херсонського державного університету – 2000. - № 13. – с. 134-138.
3. Супрун Н.П. Моделювання процесів масообміну через текстильні матеріали.// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. - № 4. - с.32-34.
4. Suprun N.P. Modeling of masstransfere processes in textiles. //Vlakna a textil, , 2001, N2, p.125 – 126.

Н.П. Супрун, А.В. Шуцкая

Модель тепломасообмена в пакетах одягу та взуття в рамках описання комфортності

С учетом основных требований к комфортности одежды и обуви, в рамках описания динамических процессов в пористой структуре материалов, предложена модель протекания газа, жидкости или их смеси.

Ключевые слова: *комфортность одежды и обуви, модель тепломасообмена, пористая среда*

N.P. Suprun, A.V. Schuckaya

Model of heat and mass exchange in the packages of clothes and shoe within the frame of description of comfortability

Taking into account the main requirements to the comfortability of clothes and shoe, within the frame of description of dynamic processes in the porous structure of materials, the model of flowing of gas, liquid or their mixture is offered.

Keywords: *comfort of clothes and shoe, model of heat and mass exchange, porous environment*