

5. Тіхосова Г.А. Особливості анатомічної будови стебел льону олійного / Г.А. Тіхосова, Т.М. Головенко, І.О. Меньяло // Нові наукові дослідження в селекції, технології вирощування та переробки технічних культур: Матеріали науково-практичної конференції молодих вчених, 8-10 грудня 2010 р. – Суми : ТОВ “ТД “Папірус” . – 2011. – С. 136-140.

6. Кузьміна Т.О. Якість і стандартизація модифікованих лляних волокон : [монографія] / Кузьміна Т.О., Чурсіна Л.А., Тіхосова Г.А. – Херсон : Олді-плюс, 2009. – 416 с.

Надійшла 24.6.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Тіхосова Г.А.

УДК [675.15+675.926]:687

О.В. ЖУК, С.М. БЕРЕЗНЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ПРИ ДУБЛЮВАННІ ШТУЧНИХ ТА НАТУРАЛЬНИХ ШКІР КЛЕЙОВИМИ ПРОКЛАДКОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

*Отримана фізична модель теплопередачі через шари пакету в процесі дублювання штучних та натуральних шкір клейовими прокладковими матеріалами на пресах прохідного типу.*

*The resulting physical model of heat transfer through the stack layers in the process of duplication of artificial and natural leather by adhesive interlinings presses on the passing type.*

Ключові слова: дублювання, пакет, коефіцієнт теплопровідності, теплопередача.

Аналіз сучасного стану процесів дублювання деталей одягу свідчить про необхідність не тільки гармонізації підбору клейових матеріалів в пакети, а й врахування їх стадійності незалежно від виду використовуваного обладнання (праски, преси, установки прохідного типу). Процес дублювання являється тритадійним і включає [1]:

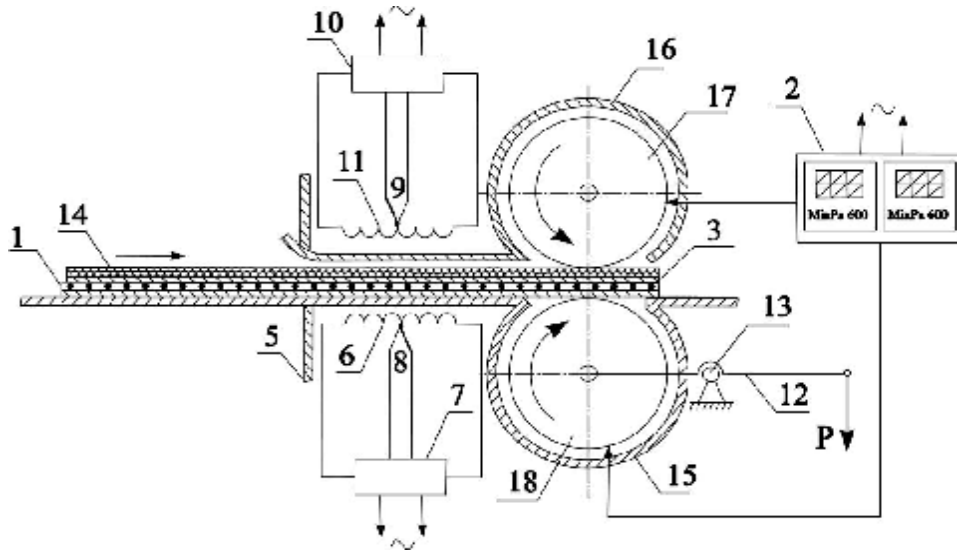
- I стадія – перехід клейових компонентів в в'язко текучий стан і заповнення клеєм нерівностей контактуючих поверхонь матеріалів;
- II стадія – забезпечення адгезійних зв'язків між розплавом клею і з'єднуваним матеріалом;
- III стадія – забезпечення адгезійної міцності клейового з'єднання за рахунок охолодження до температури вихідного фазового стану клею.

Враховуючи вище згадане, особливу увагу необхідно приділяти температурним режимам склеювання. Особливо це стосується процесів дублювання термочутливих матеріалів, до яких можна віднести штучні (ШШ) і натуральні (НШ) шкіри.

На сьогодні для цього асортименту матеріалів випускаються клейові прокладкові матеріали (КПМ) з низькою температурою плавлення клейової компоненти (КК) (90–100°C). Це обмежує можливості використання більш широкого асортименту КПМ з температурою плавлення КК 110–130°C. В зв'язку з цим виникла необхідність розробки удосконаленої технології процесів дублювання термочутливих матеріалів, в якій певним чином нівелювалась можливість пакетування деталей одягу незалежно від температури плавлення КК, один з варіантів якої являється предметом патентування. В даній роботі особлива увага звернута на розробку моделі процесу дублювання ШШ в режимі прохідного типу. Схема установки представлена на рис. 1.

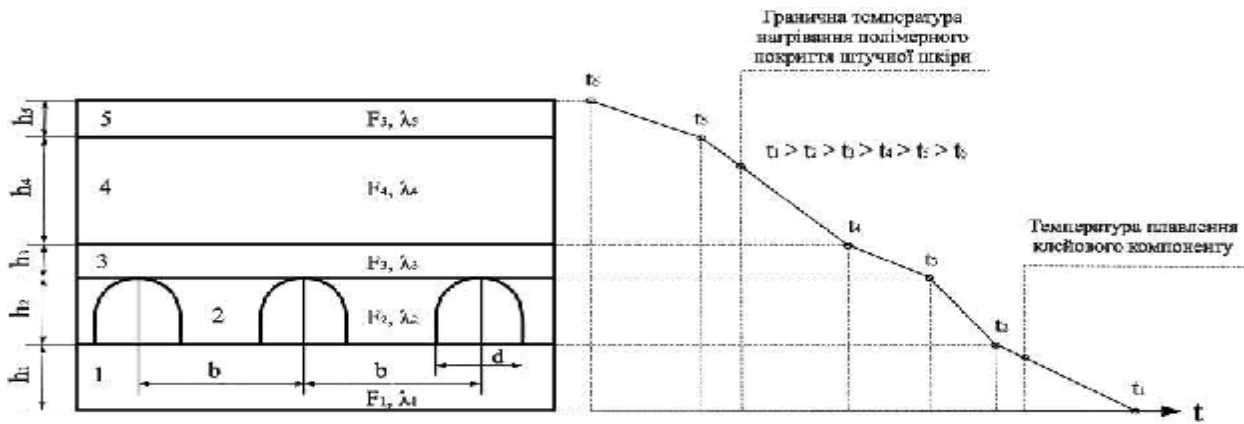
Розглянемо теплопровідність багатошарового пакету ШШ в процесі дублювання її клейовим прокладковим матеріалом (КПМ), що складається з текстильної основи та повітряно-крапельного прошарку клейового покриття (КП), нанесеного на неї.

На рис. 2 наведена модель теплопровідності (а) і розподіл температур по шарах пакету (б), котра забезпечує найбільш якісне дублювання КПМ на текстильній основі. На рис. 2 текстильна основа (1) товщиною  $h_1$  і площею  $F_1$  з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda_1$  нагрівається нижнім нагрівачем (б, рис. 1) до температури  $t_1$ . На поверхню текстильної основи (1) нанесений крапельний шар (2) КК висотою  $h_2$  і діаметром  $d$  з заданим кроком  $b$  та з заданим растром. За рахунок коефіцієнта теплопровідності КК  $\lambda_2$ , формуючого тепловий опір  $R_{2,2}$ , виникає зниження температури з  $t_2$  до  $t_3$  на кордоні клейового покриття і повітряного прошарку (3), товщиною  $h_3$  з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda_3$ . Врахування повітряного прошарку (3) в моделі необхідне, оскільки, залежно від розмірів з'єднуваних деталей, може виникати не ідеальне прилягання по площині контактування клейового матеріалу і текстильної основи (4) ШШ. Тепловий потік  $Q$ , проходячи через повітряний прошарок (3), знижує температуру з  $t_3$  на кордоні з текстильною основою ШШ за рахунок теплового опору повітряного прошарку  $R\lambda_3$ .



- |  |   |
|--|---|
| <p>1. – КПМ;<br/>                 2. – блок регулювання температури верхнього та нижнього валів;<br/>                 3. – багат шаровий пакет деталей одягу в зоні дублювання;<br/>                 4. – верхній нагрівальний блок;<br/>                 5. – нижній нагрівальний блок;<br/>                 6. – нижній нагрівач;<br/>                 7. – блок регулювання температури нижнього нагрівача;</p> | <p>8, 9 – Датчики температури (термопари) відповідно нижнього і верхнього нагрівача<br/>                 10 – блок регулювання температури верхнього нагрівача;<br/>                 11 – верхній нагрівач;<br/>                 12 – важіль нижнього веденого валу що навантажується;<br/>                 13 – шарнірна опора нижнього веденого валу;<br/>                 14 – шкіряний матеріал;<br/>                 15, 16 – захисні огороження валів;<br/>                 17 – верхній ведучий вал;<br/>                 18 – нижній ведений вал.</p> |
|--|---|

Рис. 1. Схема технологічної установки для дублювання деталей одягу з ШШ і НШ



- |  |  |
|--|--|
| <p>1. – текстильна основа КПМ<br/>                 2. – повітряно-клейовий прошарок КПМ<br/>                 3. – повітряний прошарок між ШШ і КПМ, що являється наслідком неідеального прилягання матеріалів-контактерів<br/>                 4. – текстильна основа ШШ<br/>                 5. – полімерне покриття ШШ</p> | <p><math>t_1</math> – температура нагрівання нижнього нагрівача<br/> <math>t_2</math> – температура на кордоні текстильного прошарку і клейового покриття<br/> <math>t_3</math> – температура на кордоні клейового покриття і повітряного прошарку<br/> <math>t_4</math> – температура на кордоні повітряного прошарку і текстильної основи ШШ<br/> <math>t_5</math> – температура на кордоні текстильного шару і полімерного покриття ШШ<br/> <math>t_6</math> – Температура нагрівання верхнього нагрівача</p> |
|--|--|

Рис.2. Модель багат шарового пакету штучної шкіри (а) і розподіл температур за шарами пакету (б) в процесі дублювання КПМ, що складається з текстильної основи і повітряно-клейового прошарку КПМ

При цьому тепловий потік  $Q$ , котрий формується нижнім нагрівачем, повинен забезпечити температуру на кордоні текстильної основи і клейового покриття  $t_2$ , що відповідає заданій умові:

$$t_2 < t_k \tag{1}$$

де  $t_k$  – температура початку плавлення КК.

Отже, якщо враховувати відсутність всередині шарів пакету джерела тепла буде виконуватись наступна умова:

$$t_3 = t_2 - \Delta t_k, \quad (2)$$

де  $\Delta t_k$  – різниця температур між температурою в нижній частині клейового покриття і температурою на кордоні клейового покриття (в верхній точці краплі) і повітряного прошарку  $t_3$ .

Подальше зниження температури теплового потоку виникає за рахунок теплового опору текстильної основи  $R_{\lambda 4}$  ШШ товщиною  $h_4$  з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda_4$  з величини  $t_4$  до температури  $t_5$ . Температура  $t_5$  повинна забезпечуватись технологічною установкою на рівні:

$$t_5 < t_n, \quad (3)$$

де  $t_n$  – гранична температура нагрівання полімерного покриття ШШ.

Подальше проходження теплового потоку  $Q$  через полімерне покриття ШШ (5) товщиною  $h_5$  з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda_4$  призводить до ще більшого зниження його температури з  $t_5$  до  $t_6$  за рахунок теплового опору  $R_{\lambda 5}$ .

В результаті, тепловий потік  $Q$ , проходячи через шари пакету формує на його кордонах наступний розподіл температур (рис.2, б):

$$t_1 > t_2 > t_3 > t_4 > t_5 > t_6 \quad (4)$$

Для виконання умови (4) необхідно, щоб нижній нагрівач (6, рис.1) задавав тепловий потік  $Q$  температурою  $t_1$ , а верхній нагрівач (11, рис.1) підтримував температуру полімерного покриття ШШ на рівні  $t_6$ .

На рис. 2 представлені також позначення площ контактуючих поверхонь, а саме:  $F_1, F_3, F_4, F_5$  відповідно текстильної основи КПМ, повітряного прошарку, текстильної основи ШШ та полімерного покриття ШШ,  $m^2$ ;

$F_2$  – сумарна площа повітряно-клейового шару КПМ, котра дорівнює сумі площ відповідно крапель клею та повітряних проміжків,  $m^2$ ;

$F_0$  – проекція площі деталі КПМ на поверхню контакту, що дорівнює площі деталі з ШШ,  $m^2$ .

Площу крапель клейового матеріалу можливо визначити з:

$$F_{2k} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot N, \quad (5)$$

де  $N$  – кількість клейових точок на  $m^2$ .

Тоді

$$F_{2n} = F_0 - F_{2k} = F_0 - \frac{\pi d^2}{4} \cdot N \quad (6)$$

Розглянемо процес теплопередачі через багатшаровий пакет, зібраний з ШШ і КПМ (рис.2). Зважаючи на те, що шкіряна деталь попередньо викроєна, приймаємо, що всі площі проекції контакту рівні між собою і рівні площі деталі  $F_0$ .

Необхідно зазначити, що допущення буде також вірним і при дублюванні рулонних текстильних матеріалів і ШШ.

Враховуючи, що процес дублювання протікає в стаціонарному режимі, тобто температурне поле не змінюється з часом, а внутрішні джерела тепла відсутні, то рівняння теплопровідності Фур'є приймає вигляд [2]:

$$\Delta^2 T = 0, \quad (7)$$

де  $\Delta$  – оператор Гамільтона (оператор набла), що визначається з виразу:

$$\Delta^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad (8)$$

де  $x, y, z$  – координати декартової системи.

Так як при дублюванні температурне поле в зоні контактування деталей підтримується постійним, а зміни температури виникають тільки в напрямку товщини багатшарового пакету, то рівняння (8) для одношарового пакету приймають вигляд:

$$\frac{d^2 t}{dz^2} = 0. \quad (9)$$

Інтегруючи (9) отримуємо:

$$\frac{dt}{dz} = C_1. \quad (10)$$

Після другого інтегрування отримуємо:

$$t = C_1 z + C_2. \quad (11)$$

Постійні інтегрування  $C_1$  і  $C_2$  визначимо з граничних умов:

при

$$z = 0 \quad t = C_2 = t_1; \quad (12)$$

при

$$z = h \quad t = t_2 = C_1 h + t_1;$$

звідки

$$C_1 = -\frac{t_1 - t_2}{h} \quad (13)$$

Підставляючи (13) в (11) отримуємо:

$$t = t_1 - \frac{t_1 - t_2}{h} \cdot z \quad (14)$$

З виразу (14) видно, що температура змінюється по товщині шару по лінійному закону. Щільність теплового потоку  $q$  через моношар визначиться з закону Фур'є [3]:

$$q = -l \frac{\partial T}{\partial n}, \quad (15)$$

де  $n$  – нормаль до ізотермічної поверхні (поверхні контактування деталі і КПП), за направленням якої розкладається вектор градієнта температури:

$$\text{grad}T = \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial T}{\partial n}. \quad (16)$$

На початку в нашому випадку для одного моношару отримуємо:

$$q = -l \frac{\partial T}{\partial x} = -l C_1 = l \frac{t_1 - t_2}{h}, \quad (17)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)

Загальна кількість теплоти  $Q_t$ , що проникає через поверхню площею  $F$  за час  $t$  визначається за рівнянням:

$$Q_t = q \cdot F \cdot t = \frac{l}{h} (t_1 - t_2) \cdot F \cdot t, \quad (18)$$

де  $\frac{l}{h}$  □ носить назву теплопровідності шару, величина зворотна теплопровідності носить назву внутрішнього теплового опору [3]

$$R_l = \frac{h}{l}. \quad (19)$$

Так як при стаціонарному температурному полі тепловий потік через багатшаровий пакет залишається постійним з часом для всіх шарів пакету, то відповідно рівнянню (18) для кожного шару пакету (рис. 2) можна записати:

- для першого шару – шару текстильної основи КПП:

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{R_{l1}} F_1, \quad (20)$$

- для другого шару – шару повітряно-клеєвого покриття КПП:

$$Q = \frac{t_2 - t_3}{R_{l2}} F_2, \quad (21)$$

- для третього шару – повітряного прошарку

$$Q = \frac{t_3 - t_4}{R_{l3}} F_3, \quad (22)$$

- для четвертого шару – шару текстильної основи ШШ

$$Q = \frac{t_4 - t_5}{R_{l4}} F_4, \quad (23)$$

- для п'ятого шару – шару полімерного покриття ШШ

$$Q = \frac{t_5 - t_6}{R_{l5}} F_5, \quad (24)$$

де  $R_{l1} = \frac{h_1}{l_1}$ ;  $R_{l2} = \frac{h_2}{l_2}$ ;  $R_{l3} = \frac{h_3}{l_3}$ ;  $R_{l4} = \frac{h_4}{l_4}$ ;  $R_{l5} = \frac{h_5}{l_5}$  – тепловий опір складових шарів,  $\frac{K \cdot m^2}{W}$ .

Тепловий опір повітряно-клеєвого прошарку (прошарок 2) визначимо як тепловий опір паралельно з'єднаних теплових опорів повітря  $R_{ln}$  та КК  $R_{lk}$  у вигляді:

$$R_{l2} = \frac{R_{ln} \cdot R_{lk}}{R_{lk} + R_{ln}}. \quad (25)$$

Об'єднаємо рівняння (20-24) в систему у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_1 - t_2 = \frac{Q}{F_1} R_{I1} \\ t_2 - t_3 = \frac{Q}{F_2} R_{I2} \\ t_3 - t_4 = \frac{Q}{F_3} R_{I3} \\ t_4 - t_5 = \frac{Q}{F_4} R_{I4} \\ t_5 - t_6 = \frac{Q}{F_5} R_{I5} \end{array} \right. \quad (26)$$

Складемо перше і друге рівняння системи (26):

$$t_1 - t_2 + t_2 - t_3 = \frac{Q}{F_1} R_{I1} + \frac{Q}{F_2} R_{I2}; \quad F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5 = F;$$

$$t_1 - t_3 = \frac{Q}{F} (R_{I1} + R_{I2}).$$

Отримане рівняння складемо з третім рівнянням (26):

$$t_1 - t_3 + t_3 - t_4 = \frac{Q}{F} (R_{I1} + R_{I2} + R_{I3});$$

$$t_1 - t_4 = \frac{Q}{F} (R_{I1} + R_{I2} + R_{I3}).$$

Продовжуючи аналогічні дії з четвертим і п'ятим рівнянням системи (26) кінцево отримаємо:

$$t_1 - t_6 = \frac{Q}{F} (R_{I1} + R_{I2} + R_{I3} + R_{I4} + R_{I5}). \quad (27)$$

Вирішуючи рівняння (27) відносно теплового потоку  $Q$ , отримаємо:

$$Q = \frac{(t_1 - t_6) \cdot F}{R_{I1} + R_{I2} + R_{I3} + R_{I4} + R_{I5}}. \quad (28)$$

Рівняння (28) дозволяє отримати значення щільності теплового потоку  $q$  через багатошаровий пакет:

$$q = \frac{(t_1 - t_6)}{R_{I1} + R_{I2} + R_{I3} + R_{I4} + R_{I5}}. \quad (29)$$

Рівняння (28) і (29) дозволяють, при відомих значеннях теплових опорів матеріалів, що складають пакет, проектувати нагрівальне обладнання для дублювання деталей одягу заданих розмірів. Проте для технолога більш важливою задачею являється підтримка заданого температурного режиму (1□3) для рівняння (26) при проведенні процесу дублювання. При цьому виникає задача суворої підтримки заданої температури  $t_1$  і  $t_6$ , тобто температури зовнішніх нагріваючих поверхонь з високою точністю ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) для забезпечення заданого температурного режиму, визначеного рівняннями (1□3).

Для визначення температур зовнішніх нагріваючих елементів  $t_1$  і  $t_6$  розділимо почленно праві і ліві частини кожного рівняння системи (26) на, відповідно, праву і ліву частину наступного за ним рівняння тієї ж системи (26). В результаті, враховуючи рівняння (4), отримаємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{t_1 - t_2}{R_{I1}} = \frac{R_{I1}}{R_{I2}}; \\ \frac{t_2 - t_3}{R_{I2}} = \frac{R_{I2}}{R_{I3}}; \end{array} \right. \quad (27)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{t_2 - t_3}{R_{I2}} = \frac{R_{I2}}{R_{I3}}; \\ \frac{t_3 - t_4}{R_{I3}} = \frac{R_{I3}}{R_{I4}}; \end{array} \right. \quad (28)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{t_3 - t_4}{R_{I3}} = \frac{R_{I3}}{R_{I4}}; \\ \frac{t_4 - t_5}{R_{I4}} = \frac{R_{I4}}{R_{I5}}; \end{array} \right. \quad (29)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{t_4 - t_5}{R_{I4}} = \frac{R_{I4}}{R_{I5}}; \\ \frac{t_5 - t_6}{R_{I5}} = \frac{R_{I5}}{R_{I6}}. \end{array} \right. \quad (30)$$

В отриманій системі рівнянь (27-30) є дві температури, що визначають якість процесу дублювання деталей одягу з ШШ і натуральних шкір (НШ). Це температура плавлення КК ( $t_k$ ) та гранична температура нагрівання шкіряного матеріалу ( $t_n$ ). Перевищення вище зазначених температур призводить як до передчасного розплавлення КК КПМ, так і до появи термічних перетворень поверхонь деталей з ШШ та НШ.

Відмінною рисою процесу дублювання деталей одягу з шкіряних матеріалів від аналогічних процесів для деталей одягу з текстильних матеріалів є необхідність строгої підтримки температури в підготовчій зоні (рис.1) температурного режиму, що визначається наступними умовами (1□3):

$$\begin{array}{l} t_1 > t_2 > t_3 > t_4 > t_5 > t_6; \\ t_3 < t_2 < (t_n - \Delta t_0); \end{array}$$

$$t_3 < (t_{нл} - \Delta t_0);$$

$$t_6 < t_5 < t_n.$$

Дотримання даного температурного режиму дозволяє на підготовчій стадії процесу дублювання підтримувати клейовий шар в передрозплавленому стані, а безпосереднє дублювання багатощарового пакету відбувається в валковій зоні, де нижній вал нагрівається до температури вище  $t_k$ , а температура верхнього валу на  $(0,5 \dots 1,0)^\circ\text{C}$  менша допустимій температури нагрівання шкіряного матеріалу  $t_n$ .

Для аналогічного визначення температур описаного вище режиму дублювання задаємо різницю температур  $\Delta t_0$  між температурою плавлення ( $t_k$ ) і температурою  $t_2$  на кордоні текстильної основи і клейового покриття (в нижній частині краплі):

$$\Delta t_0 = t_k - t_2 \quad (31)$$

Задамо також різницю температур  $\Delta t_k$  між температурою в нижній частині клейового покриття  $t_2$  і температурою на кордоні контакту (в верхній точці краплі) повітряно-крапельного і повітряного прошарків  $t_3$ :

$$\Delta t_k = t_2 - t_3 \quad (32)$$

Підставляючи рівняння (31) і (32) в рівняння (27) і виконуючи досить елементарні перетворення визначимо значення температури  $t_1$  нижнього нагрівача:

$$t_1 = t_2 \left( \frac{R_{I1} + R_{I2}}{R_{I2}} \right) - t_3 \frac{R_{I1}}{R_{I2}}, \quad (33)$$

де  $R_{I2}$  – визначаємо з рівняння (25).

Підставляючи рівняння (31) і (32) в рівняння (28) визначимо значення температури  $t_4$  на кордоні повітряного шару і клейового покриття:

$$t_4 = t_3 \left( \frac{R_{I2} + R_{I4}}{R_{I2}} \right) - t_2 \frac{R_{I3}}{R_{I2}}. \quad (34)$$

Підставляючи рівняння (31), (32) і (34) в рівняння (29) визначимо значення температури  $t_1$  на кордоні текстильної основи і полімерного покриття ШШ:

$$t_5 = t_4 \left( \frac{R_{I3} + R_{I4}}{R_{I3}} \right) - t_3 \frac{R_{I4}}{R_{I3}}. \quad (35)$$

І нарешті, підставляючи рівняння (34) і (35) в рівняння (30) визначимо температуру  $t_6$  на верхній поверхні багатощарового пакету, тобто температуру, котра підтримується верхнім нагрівачем 11 (рис. 1):

$$t_6 = t_5 \left( \frac{R_{I4} + R_{I5}}{R_{I4}} \right) - t_4 \frac{R_{I5}}{R_{I4}}. \quad (36)$$

Для перевірки достовірності аналітичних рішень (31-36) визначимо значення питомих теплових потоків через окремі шари багатощарового пакету:

$$q_1 = \frac{t_1 - t_2}{R_{I1}}; \quad q_2 = \frac{t_2 - t_3}{R_{I2}}; \quad q_3 = \frac{t_3 - t_4}{R_{I3}}; \quad q_4 = \frac{t_4 - t_5}{R_{I4}}; \quad q_5 = \frac{t_5 - t_6}{R_{I5}}. \quad (37)$$

Якщо наші аналітичні судження вірні, то значення питомих теплових потоків  $q_i$  через шари багатощарового пакету залишаться незмінними і рівними загальному питомому тепловому пакету  $q_{заг}$  через багатощаровий пакет (рис. 2):

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q_5 = q_{заг} = \frac{t_1 - t_6}{R_{I1} + R_{I2} + R_{I3} + R_{I4} + R_{I5}}. \quad (38)$$

### Висновок

Отримана фізична модель теплопередачі через шари пакету є основою для проектування процесів дублювання ШШ та НШ клейовими прокладковими матеріалами і може слугувати в якості вихідних даних при створенні промислового обладнання прохідного типу для дублювання деталей одягу з термочутливого матеріалу.

### Література

1. Енциклопедія швейного виробництва : [навчальний посібник]. – К. : Самміт-книга, 2010. – С. 194-196.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты / Чунихин А.А. – М. : Энергия, 1975. – 645 с.
3. Колесников П.А. Теплозащитные свойства одежды / Колесников П.А. – М. : Легкая индустрия, 1965. – С. 106.

Надійшла 22.6.2012 р.  
Рецензент: д.т.н. Березненко М.П.