УДК 687.016:678.027

ФОРМУВАННЯ КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ ВЯЗКОПРУЖНОЇ ПРИРОДИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В.В. КОСТРИЦЬКИЙ, Л.Ф. АРТЕМЕНКО, С.М. БЕРЕЗНЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Встановлені й обґрунтовані умови формування складних криволінійних поверхонь деталей одягу, що враховують хімічне чищення, волого-теплову обробку, прання і які забезпечують умови нерозривності напруг і переміщень. Науково обґрунтовані гіпотези й допущення, покладені в основу моделі багатошарового текстильного матеріалу (пакету), що встановлює взаємозв'язок між основними в'язкопружними функціями пакетів

1. Загальні положення

При формуванні складних криволінійних поверхонь деталей одягу із шаруватих текстильних матеріалів (пакетів) виникає проблема найбільш раціональної орієнтації елементарних шарів у пакеті відносно певної системи координат, що в результаті забезпечить зберігання криволінійної форми поверхні одягу після зняття технологічних напружень формоутворення. При цьому, внаслідок розходження фізико-механічних властивостей елементарних шарів, орієнтація їхніх осей пружної симетрії в просторі може не збігатися (рис. 1, а), що у свою чергу може бути причиною появи внутрішніх напружень після з'єднання текстильних матеріалів у пакети, особливо при дублюванні тканин клейовими матеріалами.

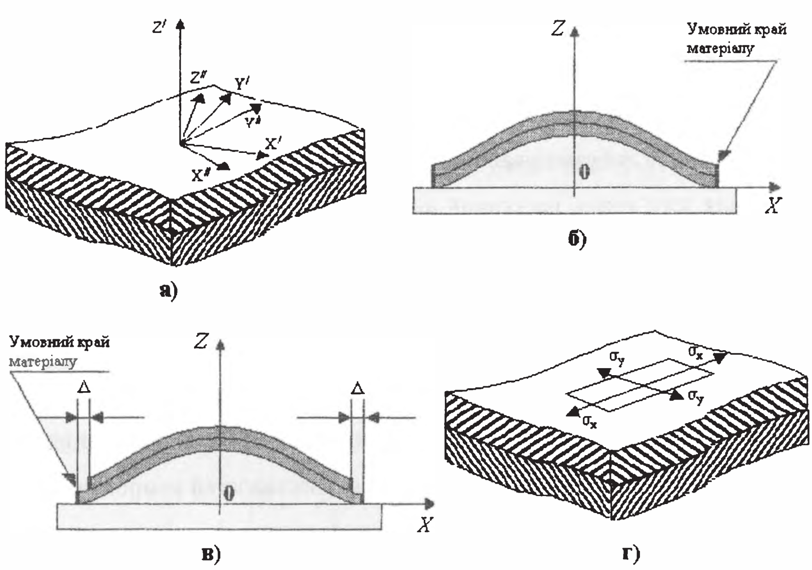

Рис. 1. **Модель формування складних криволінійних поверхонь одягу**

Надалі, в процесі експлуатації виробу, сформовані криволінійні елементи витримують різного роду зовнішні, найчастіше, напруження розтягу та зсуву. І, якби по-різному орієнтовані шари цього елемента в процесі формоутворення не були жорстко з'єднані між собою, то розходження в їх механічних властивостях викликали б, при рівних навантаженнях, різні деформації, як у поздовжньому, так й у поперечному напрямку. Більше того, розбіжність площин пружної симетрії із площинами дії навантажень визивають різні значення переміщень шарів у напрямку деформування, наслідком чого виникають значні спотворення первісної форми криволінійного елемента одягу.

Для виключення описаних вище недоліків формування криволінійних поверхонь елементів одягу з багатошарових матеріалів необхідно забезпечити скріплення шарів між собою, що може бути реалізовано двома принципово різними методами.

Відповідно до першого, традиційного методу (рис. 1, б) формування криволінійного елемента поверхні одягу відбувається з пакету матеріалу, елементарні шари якого заздалегідь скріплені між собою.

За другим методом (рис. 1, в) формування криволінійного елемента поверхні одягу відбувається одночасно (або послідовно в часі) із процесом з'єднання елементарних шарів у пакет.

В обох випадках формування криволінійного елемента поверхні починається з умовної границі (умовний край поверхні), де починається зміна кривизни формованої поверхні. У першому випадку (рис. 1, б) умовні краї матеріалу утворюють одну нормаль і не можуть переміщуватись в процесі формування криволінійної поверхні, що призводить до виникнення внутрішніх напружень зсуву на границі між шарами пакету. У другому випадку (рис. 1, в) умовні краї матеріалу мають можливість переміщуватись відносно один одного в процесі формування криволінійної поверхні, що виключає виникнення внутрішніх напружень зсуву на границі розтягу матеріалів, що дозволяє значно зменшити виникнення різного роду дефектів таких, як хвилястість внутрішньої поверхні пакету та ін.

При експлуатації одягу, хімічному чищенні, волого-тепловий обробці, пранню й іншим видам обробки, у поперечних перерізах багатошарового матеріалу виникає складний напружений стан, який характеризується наявністю міжшарових напружень (рис. 1, г), що забезпечують стан нерозривності переміщень у пакеті. У зв'язку із цим виникає проблема визначення рівня міжшарових напружень і розмірів областей, що забезпечують збереження заданої форми поверхонь одягу.

При рішенні цього завдання встає питання про визначення певної послідовності шарів, їхнього взаємного розташування які б забезпечували одержання пакету із заданим характером анізотропії в площині формування, для чого кожен наступний шар повинен бути поверненим у площині формування відносно попередніх на деякий фіксований кут. Для визначення кута повороту й прогнозування поводження багатошарового матеріалу в конструкції одягу необхідно, насамперед, знать його інтегральні властивості, так як інформації про фізико-механічні властивості елементарних шарів (моношарів) уже недостатньо, а необхідно визначити співвідношення, які характеризують поводження шаруватого анізотропного текстильного матеріалу, як єдиного цілого. Рішення цього завдання вимагає побудови моделі багатошарового пакета й визначення в'язкопружних властивостей компонентів пакетів.

2. Опис моделі багатошарового текстильного матеріалу

На відміну від шаруватих композитів, деформаційні властивості яких докладно досліджені [1 - 5] і моделі яких представлені у вигляді чергування ізотропних шарів матриці й анізотропних шарів армуючих елементів, модель шаруватого текстильного матеріалу має свої особливості.

Розглядаючи деформаційні властивості шаруватого текстильного матеріалу, будемо додержуватися результатів, викладеним у роботах [1, 7, 8]. При виводі визначальних співвідношень при побудові моделі багатошарового текстильного матеріалу були прийняті наступні гіпотези й допущення:

1. Багатошаровий текстильний матеріал (пакет) являє собою чергування n-го числа шарів, які разом утворюють лінійне в'язкопружне середовище.

2. Кожен елементарний шар (надалі моношар) являє собою в'язкопружний анізотропний матеріал, напрямок осей пружної симетрії якого збігається з геометричними осями матеріалу (тобто з напрямом ниток основи й утоку).

3. Напрямок осей, перпендикулярних до площин укладання моношарів збігаються з напрямом відповідної осі багатошарового матеріалу, а дві інші осі повернені одна щодо іншої на різні кути.

4. Між шарами існують умови ідеальної взаємодії, що забезпечує безперервність полів напружень і переміщень.

5. Дисипативними явищами на міжшарових границях нехтують.

Тому що моношари повернені один щодо іншого на різні кути, визначимо умови, що дозволяють визначати деформаційні властивості шаруватого матеріалу в довільній системі координат. У вихідних гіпотезах і допущеннях приймається, що матеріал є анізотропним і процес його деформування в прийнятих межах навантаження при формування складної поверхні може бути описаний лінійною теорією в'язкопружності, основні співвідношення якої в інтегральній формі мають наступний вигляд [8]

$$\sigma_{ij}(t)=\int_0^t E_{ijkl}(t-r)\left[\frac{d\varepsilon_{kl}(\tau)}{d\tau}\right]\cdot d\tau\,;$$

$$\varepsilon_{ij}(t)=\int_0^t J_{ijkl}(t-\tau)\left[\frac{d\sigma_{kl}(t)}{dt}\right]\cdot d\tau\,, \qquad (1)$$

де $E_{ijkl}(t)$, $J_{ijkl}(t)$ – відповідно функції релаксації й повзучості, які утворюють тензори четвертого порядку, такі, що $E_{ijkl}(t)$ = $J_{ijkl}(t)$ = 0 при $-\infty < t < 0$, і кожен його елемент має обмежену варіацію в будь-якому замкнутому напівінтервалі з області $-\infty < t < \infty$.

Надалі, при побудові моделі моно або багатошарового текстильного матеріалу, тензори релаксації $E_{ijkl}(t)$ й повзучості $J_{ijkl}(t)$ для стислості запису будемо записувати у вигляді, відповідно E_{ijkl} й J_{ijkl}, маючи на увазі їх в'язкопружну природу. Тензори релаксації E_{ijkl} й повзучості J_{ijkl} зв'язані між собою за допомогою згортки Стилтьеса $E_{ijkl} * dJ_{ijkl} \equiv J_{ijkl} * dE_{ijkl}$ [3].

Для ортотропного текстильного матеріалу або пакета необхідно визначити дев'ять незалежних компонентів, а у випадку збалансованого текстильного матеріалу (трансверсально ізотропного) залишаються тільки чотири незалежні компоненти тензора повзучості J_{ijkl} й релаксації E_{ijkl}, наприклад,

$$\left\|E_{ijkl}\right\| \equiv \begin{vmatrix} E_{11} & E_{12} & 0 \\ & E_{22} & 0 \\ & & E_{66} \end{vmatrix}; \quad \left\|J_{ijkl}\right\| \equiv \begin{vmatrix} J_{11} & J_{12} & 0 \\ & J_{22} & 0 \\ & & J_{66} \end{vmatrix}.$$

Так як відносна прямокутна система координат в основному тотожна системі симетрії текстильного матеріалу, то подовження в осях симетрії матеріалу (тобто по основі й утоку тканини) визначають відповідні тензори повзучості J_{11} й J_{12}, що діють в цих осях; $J_{12} \equiv J_{21}$ – характеризують поперечне вкорочення в головних осях; складова J_{66} характеризує властивості матеріалу при деформаціях зсуву. В'язкопружні функції поперечних деформацій текстильного матеріалу приймаються аналогічними коефіцієнту Пуассона й визначаються виразами

$$v_{12}(t)=v_{12}=\frac{J_{12}(t)}{J_{11}(t)}=\frac{J_{12}}{J_{11}};$$
$$v_{21}(t)=v_{21}=\frac{J_{12}(t)}{J_{22}(t)}=\frac{J_{12}}{J_{22}}. \quad (2)$$

При цьому складові J_{11}, J_{22},, J_{12} можна визначити в ході випробувань при одноосному розтягу, вимірюючи подовжні й поперечні деформації текстильного матеріалу [5, 8].

Скористаємося вираженням узагальненого закону Гука [1, 9] у в'язкопружній постановці для анізотропних матеріалів

$$\sigma_{ijkl} = C_{ijkl}\cdot \varepsilon_{kl}, \qquad i,j,k,l = 1,2,3, \quad (3)$$

де σ_{ijkl} й ε_{kl} - тензори лінійних напружень і деформацій другого рангу відповідно; C_{ijkl} - тензор релаксаційних модулів четвертого рангу. Два однакових індекси будуть позначати нормальну напругу. Різні індекси у символі (σ) визначають дотичні напруження. Цифра *1* - позначає вісь *X* або повернену вісь *X'*; цифра *2* - вісь *B* або *B'*, цифра *3* - вісь *Z* або *Z'*.

Аналогічно з відносними деформаціями будемо розуміти, що якщо $k=l$ те ε_{kl} представляють відносні деформації (подовження та скорочення), а якщо $k\neq l$, те ε_{kl} представляють відносні зсуви. При цьому варто мати на увазі, що у формулі (3) підсумовування виконується по індексах, що зустрічається двічі в правій частині формули, тобто по індексах *i* й *j*.

Для обчислення всіх напружень анізотропного тіла в загальному випадку буде потрібно 81 значення релаксаційних модулів. Однак симетрія тензорів σ_{ij} й ε_{kl} зменшує число незалежних компонентів до 36. Дозволяючи рівняння (3) відносно ε_{kl} одержимо вираження закону Гука у в'язкопружній постановці у вигляді [1]:

$$\varepsilon_{ij} = S_{ijkl}\sigma_{kl},\ (i,j,k,l = 1,2,3). \quad (4)$$

Тоді величина в'язкопружного потенціалу може бути представлена квадратичною функцією напруження:

$$W=\frac{1}{2}S_{ijkl}\cdot\sigma_{ij}\cdot\sigma_{kl}. \quad (5)$$

В [3] показано, що величина в'язкопружного потенціалу *W* різна для різних напружених станів багатошарових композитів, але постійна (інваріантна) для кожного даного напруженого стану й не залежить від повороту осей координат. При формуванні багатошарового текстильного матеріалу й залежно від його подальшого призначення окремі моношари повинні бути повернені, відносно один одного, на різні кути в площині формування. При цьому виникає завдання визначення релаксаційних властивостей окремих моношарів у напрямку дії прикладеної системи навантажень [6].

У випадку повороту системи координатних осей, у напрямку яких прикладаються навантаження, на деякий кут θ, стосовно системи осей симетрії матеріалу, умова інваріантності в'язкопружного потенціалу (5) дозволяє визначити в'язкопружні властивості матеріалу в довільному напряму навантаження. Для матеріалу моношару, система координат якого повернена щодо однієї з осей, перпендикулярної площини симетрії на кут θ, закон перетворення тензора (3) буде мати вигляд [2]:

$$C'_{ijkl} = e_{im}e_{jn}e_{ko}e_{lp}C_{mnop}. \quad (6)$$

Приймемо, що $1'$, $2'$, $3'$ - нові осі системи координат $1, 2, 3$, повернені щодо осі $3'$, тоді e_{im}, e_{jm}, e_{ko}, e_{lp} - косинуси кутів між напрямком нових і старих осей.

Тоді для релаксаційних модулів певного моношару можна записати [7]:

$$
\begin{aligned}
&C'_{11} = \cos^4\theta . C_{11} + 2\cos^2\theta\cdot\sin^2\theta.(C_{12}+2C_{66}) + 4\cos\theta\cdot\sin\theta.[\cos^2\theta.C_{16}+\sin^2\theta.C_{26}] + \sin^4\theta.C_{22};\\
&C'_{12} = \cos^2\theta\sin^2\theta\cdot[C_{11}+CD_{22}-4C_{66}] - 2\cos\theta\cdot\sin\theta\cdot(\cos^2\theta-\sin^2\theta)(C_{16}-C_{26}) + (\cos^4\theta+\sin^4\theta)C_{12};\\
&C'_{13} = \cos^2\theta\cdot C_{13} + \sin^2\theta\cdot C_{23} + 2\cos\theta\cdot\sin\theta\cdot C_{36};\\
&C'_{16} = \cos^2\theta\cdot(\cos^2\theta-3\sin^2\theta)C_{16} - \cos\theta\cdot\sin\theta\cdot[\cos^2\theta\cdot C_{11} - \sin^2\theta\cdot C_{22} - (\cos^2\theta -\\
&\quad -\sin^2\theta)(C_{12}+2C_{66})] + \sin^2\theta\cdot(3\cos^2\theta-\sin^2\theta)C_{26};\\
&C'_{22} = \sin^4\theta\cdot C_{11} = 2\cos^2\theta\cdot\sin^2\theta\cdot(C_{12}+2C_{66}) - 4\cos\theta\cdot\sin\theta\cdot(\cos^2\theta\cdot C_{26}+\sin^2\theta\cdot C_{16}) + \cos^4\theta\cdot C_{22};\\
&C'_{23} = \sin^2\theta\cdot C_{13} + \cos^2\theta\cdot C_{23} - 2\cos\theta\cdot\sin\theta\cdot C_{36}; \qquad (7)\\
&C'_{26} = \cos^2\theta\cdot(\cos^2\theta-3\sin^2\theta)C_{26} - \cos\theta\cdot\sin\theta\cdot[\sin^2\theta\cdot C_{11} - \cos^2\theta\cdot C_{22} + (\cos^2\theta -\\
&\quad -\sin^2\theta)\cdot(C_{12}+2C_{66})] + \sin^2\theta\cdot(3\cos^2\theta-\sin^2\theta)C_{16};\\
&C'_{33} = C_{33};\ C'_{36} = (\cos^2\theta-\sin^2\theta)C_{36} + \cos\theta\cdot\sin\theta\cdot(C_{23}-C_{13});\\
&C'_{44} = \cos^2\theta\cdot C_{44} - 2\cos\theta\cdot\sin\theta\cdot C_{45} + \sin^2\theta\cdot C_{55};\\
&C'_{45} = (\cos^2\theta-\sin^2\theta)C_{45} + \cos\theta\cdot\sin\theta\cdot(C_{44}-C_{55});\\
&C'_{55} = \cos^2\hat{\upsilon}\cdot C_{55} + 2\cos\theta\cdot\sin\theta\cdot C_{45} + \sin^2\theta\cdot C_{44};\\
&C'_{66} = \cos^2\theta\cdot\sin^2\theta\cdot(C_{11}+C_{22}-2C_{12}) + 2\cos\theta\cdot\sin\theta\cdot(\cos^2\theta-\sin^2\theta)(C_{22}-C_{16}) + (\cos^2\theta-\sin^2\theta)^2C_{66}.
\end{aligned}
$$

Аналогічно одержимо формули перетворення для відношення напруження - деформація при плоскому напруженому стані. Формування складних криволінійних поверхонь деталей одягу відбувається в умовах, коли багатошаровий матеріал, що формується знаходиться в умовах плоского напруженого стану, для якого $\sigma_3 = \sigma_{33} = 0;\ \sigma_4 = \sigma_{23} = 0;\ \sigma_5 = \sigma_{31} = 0$. Тоді для текстильного матеріалу, якому властива наявність тільки однієї площини симетрії, що співпадає з площиною (1-2) системи координат, у випадку плоского напруженого стану в залежностях (3) залишаються шість незалежних релаксаційних функцій [9]:

$$\begin{bmatrix}\sigma_1\\ \sigma_2\\ \sigma_3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}R_{11} & R_{12} & R_{16}\\ R_{21} & R_{22} & R_{26}\\ R_{61} & R_{62} & R_{66}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\varepsilon_1\\ \varepsilon_2\\ \varepsilon_6\end{bmatrix}, \qquad (8)$$

де

$$R_{ij} = C_{ij} - \frac{C_{i3}\cdot C_{j3}}{C_{33}}. \qquad (9)$$

Наявність компонентів $R_{16} = R_{61}$ й $R_{26} = R_{62}$ в (8) відповідає взаємодії між дотичними й нормальними напруженнями й деформаціями. Компоненти R_{ij} й C_{ij} підкоряються при повороті системи координат тому самому закону перетворення (6) як компоненти тензора четвертого рангу.

Введемо позначення [2]:

$$\cos^4\theta = \frac{1}{8}(3+4\cos 2\theta + \cos 4\theta),\ \cos^3\theta\cdot\sin\theta = \frac{1}{2}(2\sin 2\theta + \sin 4\theta),$$
$$\cos^2\theta\cdot\sin^2\theta = \frac{1}{8}(1-\cos 4\theta),\ \cos\theta\cdot\sin^3\theta = \frac{1}{8}(2\sin 2\theta - \sin 4\theta), \tag{10}$$
$$\sin^4\theta = \frac{1}{3}(3-4\cos 2\theta + \cos 4\theta).$$

Підставляючи (10) в (8) і з огляду на (7) перетворимо R_{ij} до виду

$$\begin{bmatrix} R'_{11} \\ R'_{22} \\ R'_{12} \\ R'_{66} \\ 2R'_{16} \\ 2R'_{26} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & 2K_6 & K_3 & K_7 \\ K_1 & -K_2 & -2K_6 & K_3 & K_7 \\ K_4 & 0 & 0 & -K_3 & -K_7 \\ K_5 & 0 & 0 & -K_3 & -K_7 \\ 0 & 2K_6 & -K_2 & 2K_7 & -2K_3 \\ 0 & 2K_6 & -K_2 & -2K_7 & 2K_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\theta \\ \sin 2\theta \\ \cos 4\theta \\ \sin 4\theta \end{bmatrix}, \tag{11}$$

де

$$K_1 = \frac{1}{8}(3R_{11} + 3R_{22} + 2R_{12} + 4R_{66});\ K_2 = \frac{1}{2}(R_{11} - R_{22});$$
$$K_3 = \frac{1}{8}(R_{11} + R_{22} - 2R_{12} - 4R_{66});\ K_4 = \frac{1}{8}(R_{11} + R_{22} + 6R_{12} - 4R_{66}); \tag{12}$$
$$K_5 = \frac{1}{8}(R_{11} + R_{22} - 2R_{12} + 4R_{66});\ K_6 = \frac{1}{2}(R_{16} + R_{26});\ K_7 = \frac{1}{2}(R_{16} - R_{26}).$$

З рівнянь (11) випливають наступні досить важливі властивості інваріантності:

$$R'_{11} + R'_{22} + 2R'_{12} = R_{11} + R_{22} + 2R_{12},\ R'_{66} - R'_{12} = R_{66} - R_{12}. \tag{13}$$

Отримані залежності (13) співпадають із результатами роботи [5], що отримані з інших вихідних передумов, що говорить про коректність розглянутих перетворень.

Проводячи аналогічні міркування для текстильного матеріалу з ортотропною симетрією, отримаємо систему рівнянь, аналогічну (8), у вигляді:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & 0 \\ R_{21} & R_{22} & 0 \\ 0 & 0 & R_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix}, \tag{14}$$

де

$$R_{11} = C_{11} - \frac{C_{13}^2}{C_{33}};\ R_{12} = R_{21} = C_{12} - \frac{C_{13}\cdot C_{23}}{C_{33}};$$
$$R_{22} = R_{22} - \frac{C_{23}^2}{C_{33}};\ R_{66} = C_{66}.$$

Експериментальна перевірка запропонованих співвідношень може бути здійснена тільки з використанням технічних модулів. Тому отримані співвідношення необхідно перетворити з використанням співвідношення (4) і матриці податливостей S_{ijkl}, яку необхідно записувати в повній тензорній формі. Коефіцієнти піддатливості S_{ijkl}, що відносяться до однієї системи координат, пов'язані з коефіцієнтами піддатливості S'_{pqmn}, що відносяться до іншої системи координат, правилами тензорних перетворень, аналогічно рівнянню (6)

$$S'_{pqmn} = e_{pi}e_{qj}e_{mk}e_{nl}\cdot S_{ijkl}, \tag{15}$$

де e_{pi}, e_{qi}, e_{mk}, e_{nl} - косинуси кутів між віссю p нової системи координат і віссю i старої системи, віссю q нової й віссю j старої, віссю m нової й віссю k старої, віссю n нової й віссю l старої. p, q, m, n - приймають значення $1, 2, 3$ у нової, а i, j, k, l - також $1, 2, 3$ - у старої координатних системах.

При формуванні криволінійних поверхонь з багатошарового матеріалу, який при експлуатації піддаватиметься волого-тепловій обробці, пранню або хімічному чищенню, необхідно прагнути до внутрішньої рівноваги всього багатошарового пакету, тобто забезпечити його метастабільний стан. Це означає, що якщо в площині матеріалу прикладається навантаження, то матеріал повинен деформуватися однорідно по всім напрямам поверхні не скривлюючись і не короблячись. Наприклад, для тришарового матеріалу зовнішні моношари повинні бути підібрані так, щоб внутрішній шар знаходився в збалансованому стані. Ця умова, у свою чергу, вимагає підбору фізико-механічних властивостей та товщини зовнішніх моношарів, орієнтації їх щодо напряму дії навантаження.

Висновки

1. Встановлені й обґрунтовані умови формування складних криволінійних поверхонь деталей одягу, які забезпечують умови нерозривності напруг і переміщень.
2. Науково обґрунтовані гіпотези й допущення, покладені в основу моделі багатошарового текстильного матеріалу (пакету), що встановлюють взаємозв'язок між основними в'язкопружними параметрами пакетів.
3. Умова інваріантності в'язкопружного потенціалу дозволяє прогнозувати в'язкопружні властивості багатошарових текстильних матеріалів при заданому напрямку діючих навантажень і формувати їх метастабільний стан.
4. Запропонований апарат R - функцій, заснований на існуванні інваріантних співвідношень між в'язкопружними функціями текстильних матеріалів, дозволяє спростити процедуру визначення релаксаційних властивостей вихідних моношарів і пакетів з них.
5. Обґрунтовані основні визначальні співвідношення, що описують взаємозв'язок різних типів структурної анізотропії текстильних матеріалів і пакетів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рабинович А.Л. Введение в механику армированных полимеров. - М.: Наука, 1970. – 482 с.

2. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов.–Л.: Машиностроение, 1972 .– 216 с.

3. Ван Фо Фы Г.А. Теория армированных материалов. – К.: Наукова думка, 1971. – 232 с.

4. Нильсен П. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. - М.: Химия, 1978. – 312 с.

5. Огибалов П.М., Суворова Ю.В. Механика армированных пластиков. - М.: МГУ, 1965. – 479 с.

6. Березненко Н.П., Березненко С.Н., Белоус С.В., Беленикин В.В., Козырская И. Ю. Совершенствование процессов формования деталей швейных изделий // Збірник наукових праць молодих вчених та студентів. – Ч.1. – К.: ДАЛПУ. – 1996. – с.10 - 11.

7. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: ГИТТЛ, 1950. 226 с.

8. Малмейстер А.К. Сопротивление жестких полимерных материалов.– Рига: Зинатне, 1967. – 398 с.

Надійшла 15.07.2010