

УДК 681.083:678.01

**ВИЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ
МАТЕРІАЛІВ З ДОСЛІДІВ НА ПОВЗУЧИСТЬ**

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

Київський національний університет технологій та дизайну

При формуванні багатошарових пакетів з текстильних матеріалів необхідно при дублюванні визначати кути повороту окремих моношарів з метою забезпечення квазістабільного стану пакету в цілому, що в свою чергу дозволить прогнозувати поведінку багатошарового матеріалу в конструкції одягу. Для цього необхідно, насамперед, знати не тільки інтегральні властивості пакету, але й мати дані про в'язкопружні властивості компонентів пакетів, тобто експериментально визначити лінійні в'язкопружні властивості моношарів, з урахуванням їх анізотропної природи. Запропонована методика визначення повзучості і відновлення текстильних матеріалів типу костюмних тканин. Наведені діаграми повзучості і відновлення текстильних матеріалів під дією постійного навантаження залежно від температури експлуатації та наведений аналітичний опис їх згідно теорії пружної спадковості. Дослідження проведені в інтервалі температур 20...100 °С

При експлуатації одягу, хімічному чищенні, волого-тепловій обробці, пранні й інших видах обробки, у поперечних перерізах багатошарового матеріалу змінюється складний напружений стан, який характеризується певним рівнем міжшарових напружень. Певний рівень міжшарових напружень формується у результаті термодублювання складових пакету на стадії виготовлення як окремих деталей, так і всього одягу. Це забезпечує стан нерозривності переміщень складових пакету, як єдиного цілого. У зв'язку із цим виникає проблема визначення певного рівня міжшарових напружень і розмірів областей, що забезпечують збереження заданої форми поверхонь одягу [1, 2].

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є в'язкопружні властивості текстильних матеріалів. Метод дослідження – принцип в'язкопружної спадковості.

Постановка завдання

При рішенні завдання по визначенню в'язкопружних властивостей пакетів встає питання про визначення певної послідовності шарів, їхнього взаємного розташування які б забезпечували одержання пакету із заданим характером анізотропії в площині формування. Це може бути забезпечено шляхом повороту і закріплення кожного наступного шару відносно попередніх на деякий фіксований кут у площині формування. Для визначення кута повороту й прогнозування поведінки багатошарового матеріалу в конструкції одягу необхідно, насамперед, знати не тільки інтегральні властивості пакету, але й мати дані про в'язкопружні властивості компонентів пакетів, тобто експериментально визначити лінійні в'язкопружні властивості моношарів, з урахуванням їх анізотропної природи.

Результати та їх обговорення

В даний час найбільш загальним принципом, що може бути покладений в основу таких досліджень, є, очевидно, принцип в'язкопружної спадковості. Він приводить до побудови визначальних співвідношень у вигляді інтегральних рівнянь, що є більш загальними стосовно диференціального [3...5].

Уперше гіпотеза спадковості була введена Больцманом ще в позаминулому столітті. Їм на підставі висунутого принципу суперпозиції була отримана визначальне інтегральне рівняння. З інших міркувань, форма закону спадкової в'язкопружності була отримана Вольтерра. Він припустив, що повна

деформація тіла складається з миттєвої деформації, що визначається напругою, що діє в даний момент часу, і яка визначається законом Гука, і з наслідуючої деформації, яка пам'ятає усю історію навантаження матеріалу. Для лінійного напруженого стану зв'язок між напруженнями та деформаціями записується через ядра повзучості $K(t-\tau)$ та релаксації $R(t-\tau)$ у вигляді

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \lambda \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

$$\sigma(t) = E \left[\varepsilon(t) - \lambda \int_0^t R(t-\tau) \varepsilon(\tau) d\tau \right], \quad (2)$$

або через функції повзучості $\chi(t)$ и релаксації $\gamma(t)$

$$\chi(t) = \int_0^t K(t-\tau) d\tau, \quad \gamma(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\tau,$$

у наступній формі

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \lambda \int_0^t \chi(t-\tau) \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} d\tau \right], \quad (3)$$

$$\sigma(t) = E \left[\varepsilon(t) - \lambda \int_0^t \gamma(t-\tau) \frac{d\varepsilon(\tau)}{d\tau} d\tau \right]. \quad (4)$$

Функція $K(t-\tau)$, що є ядром інтегрального рівняння, відображає вплив одиничного напруження $\sigma(\tau)$, діючого в одиничний проміжок часу τ на деформацію у момент часу t . Функція $R(t-\tau)$, що є ядром релаксації, в той же час є і резольвентою ядра повзучості $K(t-\tau)$.

При $\sigma(t) = const = \sigma_0$ ядро повзучості $K(t)$ пропорційно швидкості повзучості

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma}{E} K(t). \quad (5)$$

Рівняння теорії спадковості дозволяють шляхом підбору різних ядер якнайповніше і найбільш точно відобразити процес деформації матеріалу (1), або його навантаження (2). Основна проблема у використанні теорії спадковості для вирішення практичних завдань полягає у виборі ядер в інтегральних співвідношеннях (1, 2). Ступенева залежність деформації повзучості від часу, яка у експериментальних дослідженнях набула найбільшого поширення [5, 6] показує, а що функція повзучості $\chi(t)$ в інтегральному рівнянні (4) може бути прийнята у вигляді:

$$\chi(t) = \frac{t^{1-\alpha}}{\Gamma(2-\alpha)}, \quad -1 < \alpha < 1. \quad (6)$$

Тоді ядро оператора повзучості виражається через оператор Абеля другого порядку

$$J_\alpha = K(t-\tau) = \frac{\beta(t-\tau)^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)}. \quad (7)$$

Оскільки

$$J_\alpha^* = \int_0^\alpha J_\alpha d\tau = \int_0^t \frac{(t-\tau)^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)} d\tau = \frac{t^{1-\alpha}}{\Gamma(2-\alpha)}. \quad (8)$$

При $\lambda = \beta$ резольвентою ступеневого ряду (6) є експоненціальна функція дробового порядку Ю.Н. Работнова [7]

$$R(t-\tau) = \beta \mathcal{E}_\alpha(\beta, t-\tau) = \beta (t-\tau)^{-\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\beta)^n (t-\tau)^{n(1-\alpha)}}{\Gamma(n+1)(n-\alpha)}, \quad (9)$$

тобто ядро повзучості $K(t-\tau) = \frac{\beta (t-\tau)^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)}$ інтегрального оператора βJ_α^* відповідає ядру релаксації (9) інтегрального оператора $\beta \mathcal{E}_\alpha^*(-\beta)$. Іншими словами, ядро оператора $\mathcal{E}_\alpha^*(\beta)$ є резольвентою ядра J_α^* тобто

$$1 + \beta \mathcal{E}_\alpha^*(\beta) = \frac{1}{1 - \beta J_\alpha^*},$$

$$\mathcal{E}_\alpha^*(\beta) = J_\alpha^* + \beta J_\alpha^* + \beta^2 J_\alpha^* + \dots + \beta^n J_\alpha^*.$$

Якщо навантаження в процесі повзучості постійне $\sigma(t) = const$, то

$$\mathcal{E}_\alpha^*(-\beta) \cdot 1 = \int_0^t \mathcal{E}_\alpha(-\beta, t-\tau) d\tau \approx \beta^{2-1} \left[-\exp \left(-\omega \beta t^{1-\alpha} \right) \right], \quad (10)$$

де $\omega = (-\alpha)^{\overline{1-\alpha}}$. При $t \rightarrow \infty$ другий член в дужках прагне до нуля і вираз (10) прагне до граничного значення $(-\beta)$. Отже, при постійному навантаженні \mathcal{E}_α^* оператори описують затухаючу повзучість. Незгасаюча повзучість виходить лише у випадку $\beta=0$, при цьому \mathcal{E}_α^* оператор перетворюється на J_α^* оператор. Якщо процес повзучості може бути описаний ступеневою функцією (6), то на підставі співвідношення (10), зміна в'язкопружних постійних в процесі повзучості може бути описано [3, 5, 7, 8]:

релаксаційного модуля пружності

$$E(t) = E_0 \exp \left[-\omega \delta \Gamma(1-\alpha) t^{1-\alpha} \right], \quad (11)$$

релаксаційного модуля зсуву

$$G(t) = G_0 \exp \left[-\frac{3\omega \delta \Gamma(1-\alpha)}{2(1+\nu)} t^{1-\alpha} \right], \quad (12)$$

релаксаційного коефіцієнта Пуассона

$$\nu(t) = \frac{1}{2} - \frac{1-2\nu_0}{2} \exp \left[-\omega \delta \Gamma(1-\alpha) t^{1-\alpha} \right], \quad (13)$$

де $\omega = (-\alpha)^{\overline{1-\alpha}}$, $\delta = \frac{\beta}{\Gamma(-\alpha)}$

Дослідження в'язкопружних властивостей текстильних матеріалів проводилось на іспитовій

установці [8], що дозволяє проводити експерименти при температурах 20... 200 °С. При цих іспитах досліджувались процеси повзучості, в умовах постійного навантаження, та відновлення, після зняття навантаження. На рис. 1 наведені криві повзучості та відновлення зразків текстильного матеріалу костюмної групи артикулу 5816 (криві 1, 3) та артикулу 3046 (криві 2, 4), під дією постійного навантаження $P = 2 \text{ Н}$ (криві 1,2) та $P = 1 \text{ Н}$ (криві 3,4) при температурах $T = 20 \text{ °С}$ (рис. 1,а) та $T = 60 \text{ °С}$ (рис. 1, б). Якщо перебудувати криві повзучості та відновлення досліджуваних текстильних матеріалів в логарифмічних координатах ($\lg \varepsilon - \lg t$), то вони мають вид прямих навколо яких групуються експериментальні точки (рис. 2). Отримані лінійні залежності у логарифмічних координатах дозволяє апроксимувати рівнянням ступеневої функції розвиток деформацій повзучості та відновлення текстильних матеріалів у часі під дією постійного навантаження

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \left[1 + a \left(1 - \exp(-\gamma t^n) \right) \right], \quad (14)$$

де ε_0 – умовно-миттєва деформація; a, b, n – параметри, визначувані з кривих повзучості (рис. 2) по методиці, яка викладена в роботах [9].

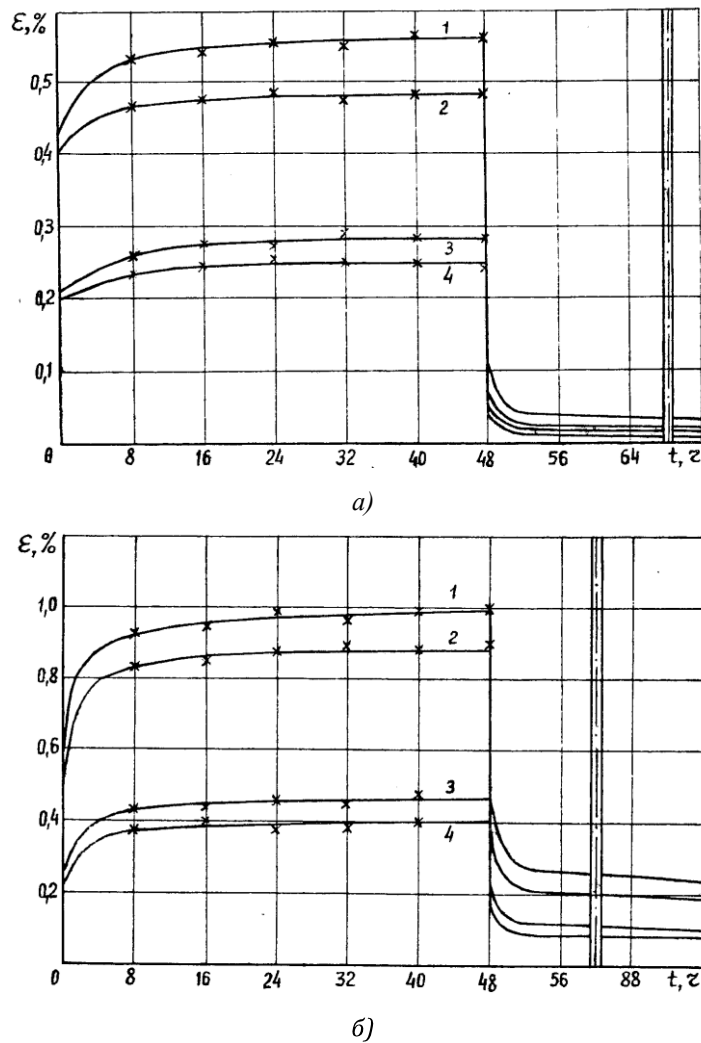


Рис. 1. Криві повзучості та відновлення текстильного матеріалу артикулу 5816 (криві 1, 3) та артикулу 3046 (криві 2,4) під дією постійного навантаження $P = 2 \text{ Н}$ (криві 1,2) та $P = 1 \text{ Н}$ (криві 3,4) при температурі $T = 60 \text{ °С}$ (а) та $T = 20 \text{ °С}$ (б)

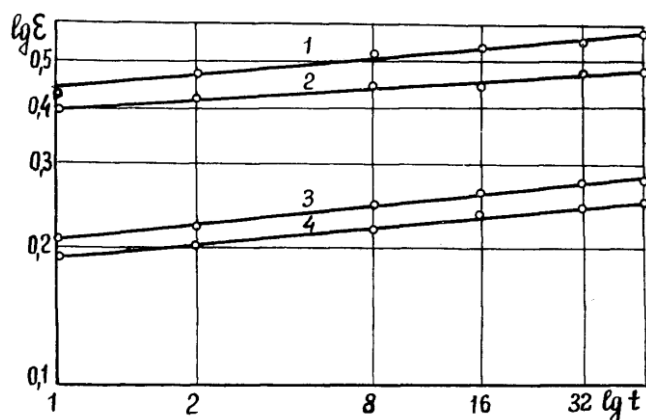


Рис. 2. Криві повзучості у логарифмічних координатах ($lg \varepsilon - lg t$) текстильного матеріалу артикулу 5816 (криві 1,3) та артикулу 3046 (криві 2,4) під дією постійного навантаження $P = 2 \text{ Н}$ (криві 1,2) та $P = 2 \text{ Н}$ (криві 3,4) при $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

На рис. 1 хрестиками нанесені теоретичні значення деформацій повзучої визначені по формулі (14). Як видно з рис. 1 теоретичні значення деформації повзучості добре узгоджуються з експериментальними кривими, похибка відхилення експериментальних даних від теоретичних не перевищує 1,25 % для текстильного матеріалу артикулу 5816 і 1,5 % для текстильного матеріалу артикулу 3046 в інтервалі експлуатаційних навантажень. Тому в дослідженому діапазоні навантажень і температур для опису деформацій повзучості може бути успішно застосована лінійна теорія в'язкопружності [7].

Висновки

Таким чином, розроблена методика експериментального вивчення деформацій повзучості текстильних матеріалів та показана можливість математичного опису деформацій повзучості рівнянням лінійної теорії в'язкопружності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Березненко С.М. Проблеми формування і формозакріплення деталей одягу //Проблеми лёгкой и текстильной промышленности Украины. Межвузовский журнал, 1999 – №2 – С.76 –78.
2. Березненко С.Н. Эффективные свойства многослойных пакетов одёжных материалов// Проблемы лёгкой и текстильной промышленности Украины. Межвузовский журнал, ХГТУ, 2000. –№3. – С.34–39.
3. Аскадский А.А. Деформация полимеров. – М.: Химия, 1973. – 448 с.
4. Ферри Дж. Вязкоупругие свойства полимеров. – М.: Мир, 1963. – 536 с.
5. Привалко В.П. Молекулярное строение и свойства полимеров. – М.: Химия, 1966. – 240 с.
6. Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В. Курс физики полимеров. – Л.: Издательство «Химия», 1976. – 288 с.
7. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. – М.: Наука, 1977. – 384 с.
8. Артеменко Л.Ф., Кострицький В.В. Випробувальна установка для дослідження повзучості, коефіцієнтів теплового розширення полімерних та текстильних матеріалів // Волков. О.І.,

Костицький В.В. Інноваційні розробки та технології науковців Київського національного університету технологій та дизайну. – К.: Світ успіху, 2010. – с.31 – 33.

9. Розовский М.И. О некоторых особенностях упруго-наследственных сред // Известия АН СССР, Механика и машиностроение, 1961, т.2. – с. 124 – 132.