

УДК 681.083:678.01

## МЕТОД ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСНО-ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ

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

Київський національний університет технологій та дизайну

*Запропоновано метод обробки експериментальних даних в'язкопружних досліджень на повзучість з використанням комплексно – дисперсійного аналізу. Наведена послідовність як розрахункових так і методичних кроків при дослідженні повзучості та відновлення матеріалів, що дозволяє зменшити до мінімуму методичну похибку від часового впливу на результати досліджень та похибок від метрологічних та інструментальних факторів, з'ясувати природу статистичного розкиду і отримати найбільш достовірні значення досліджуваного процесу повзучості та відновлення матеріалу*

Необхідність врахування в'язкопружних властивостей текстильних матеріалів при проектуванні та виготовленні одягу набуває останнім часом рішучого значення, особливо з появою нових за структурною організацією тканин. Найбільш поширеним методом визначення в'язкопружних властивостей матеріалів є дослідження повзучості, яке являє собою одно з механічних релаксаційних явищ матеріалу, аналіз якого має визначальне значення для його практичного застосування [1...3]. З фізичної точки зору повзучість – це властивість матеріалу безперервно деформуватися у часі під дією постійного навантаження (або напруження).

### **Об'єкти та методи дослідження**

Об'єктом дослідження є в'язкопружні властивості текстильних матеріалів. Метод дослідження – комплексно-дисперсійний аналіз первинних даних дослідів на повзучість.

### **Постановка завдання**

Вагомою особливістю досліджень повзучості матеріалів є залежність деформацій повзучості від часу, що накладає, в свою чергу, необхідність одночасного виконання іспитів на зразках близнюках. З точки зору математичної статистики необхідно проводити дослідження одночасно мінімум на шести – дев'яти зразках близнюках, щоб зменшити до мінімуму методичну похибку від часового впливу на результати досліджень та похибок від метрологічних та інструментальних факторів. У зв'язку з цим експериментальні дослідження повзучості (релаксації), довготривалої міцності та інших досліджень часових змін властивостей матеріалів виконуються на багатосекційних дослідних установках [3...6]. Дослідження в'язкопружних властивостей матеріалів одночасно на зразках – близнюках вимагає певних неординарних підходів до методів статистичної обробки первинних даних паралельних експериментів. Дослідження повзучості текстильних матеріалів проводилось згідно рекомендацій [3].

### **Результати та їх обговорення**

Сутність методу полягає у деформуванні дослідних зразків - близнюків постійним навантаженням  $\sigma_k$  різного рівня та одночасній реєстрації деформацій повзучості  $\varepsilon_{kmn}^{\Pi}$  зразків - близнюків при незмінній температурі  $T^{\Pi}$  протягом визначеного часового інтервалу. Результати паралельних випробувань на зразках близнюках  $\varepsilon_{kmn}^{\Pi}$  при однакових значеннях часу  $t_m$  і для кожного рівня

навантаження  $\sigma_k$  групуються та записують у таблицю 1 за наступною детермінованою схемою (рис. 1):

перший рівень детермінації – постійний рівень навантаження (напруження)  $\sigma_k$ ;

другий рівень детермінації – паралельні відліки для різних часових інтервалів  $t_m$ .

До граф 1, 2, 3, ...  $n$  табл. 1 вносять значення деформацій повзучості  $\varepsilon_{kmn}(t_m)$  для кожного рівня навантаження  $\sigma_k$ , які розраховують з виразу

$$\varepsilon_{kmn}^{\Pi} = \varepsilon_{kmn}(t_m) - \varepsilon_k^0, \tag{1}$$

де  $\varepsilon_k^0$  – умовно-миттєва (пружна) деформація матеріалу визначається з рівняння

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma_k}{E_0},$$

де  $E_0$  – умовно-миттєвий модуль пружності матеріалу, що визначається динамічним методом [7].

Випробування на повзучість зразків - близнюків	
Паралельні іспити	Перший рівень детермінації (рівень навантаження)
	Другий рівень детермінації (відліки у різні часові інтервали)

Рис. 1. Схема угруповання дослідних даних при комплексному дисперсійному аналізі

Для кожного значення часу відліку  $t_m$  розраховують середні величини деформацій повзучості  $\bar{\varepsilon}_{km}^{\Pi}$

$$\bar{\varepsilon}^{\Pi} = \frac{\sum_1^n \varepsilon_n^{\Pi}}{n}, \tag{3}$$

де  $n$  – число паралельних випробувань. Результати розрахунку вносять в графу  $\bar{\varepsilon}_{km}^{\Pi}$ .

Таблиця 1.

Рівень навантаження, $\sigma_k$	Відліки часу, $t_m$	Деформації повзучості $\varepsilon_{kmn}^{\Pi}$ зразків - близнюків					Відносні значення абсолютних відхилень деформацій повзучості $\varepsilon_{kmn}^{\Pi}$ від середніх значень $r_{kmn}$						
		$\varepsilon_{km1}^{\Pi}$	$\varepsilon_{km2}^{\Pi}$	$\varepsilon_{km3}^{\Pi}$	...	$\varepsilon_{kmn}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{km}^{\Pi}$	$r_{km1}$	$r_{km2}$	$r_{km3}$	...	$r_{kmn}$	$R_{km} = \sqrt{\sum_1^n r_{kmn}^2}$
		1	2	3		n		1	2	3	...	n	
$\sigma_1$	$t_1$	$\varepsilon_{111}^{\Pi}$	$\varepsilon_{112}^{\Pi}$	$\varepsilon_{113}^{\Pi}$	...	$\varepsilon_{11n}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{11}^{\Pi}$	$r_{111}$	$r_{112}$	$r_{113}$	...	$r_{11n}$	$R_{11}$
	$t_2$	$\varepsilon_{121}^{\Pi}$	$\varepsilon_{122}^{\Pi}$	$\varepsilon_{123}^{\Pi}$	...	$\varepsilon_{12n}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{12}^{\Pi}$	$r_{121}$	$r_{122}$	$r_{123}$	...	$r_{12n}$	$R_{12}$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$t_m$	$\varepsilon_{1m1}^{\Pi}$	$\varepsilon_{1m2}^{\Pi}$	$\varepsilon_{1m3}^{\Pi}$	...	$\varepsilon_{1mn}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{1m}^{\Pi}$	$r_{1m1}$	$r_{1m2}$	$r_{1m3}$	...	$r_{1mn}$	$R_{1m}$
$\sigma_2$	$t_1$	$\varepsilon_{211}^{\Pi}$	$\varepsilon_{212}^{\Pi}$	$\varepsilon_{213}^{\Pi}$	...	$\varepsilon_{21n}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{21}^{\Pi}$	$r_{211}$	$r_{112}$	$r_{113}$	...	$r_{21n}$	$R_{21}$
	$t_2$	$\varepsilon_{221}^{\Pi}$	$\varepsilon_{222}^{\Pi}$	$\varepsilon_{223}^{\Pi}$	...	$\varepsilon_{22n}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{22}^{\Pi}$	$r_{221}$	$r_{122}$	$r_{123}$	...	$r_{22n}$	$R_{22}$

	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$t_m$	$\varepsilon_{2m1}^{\Pi}$	$\varepsilon_{2m2}^{\Pi}$	...	...	$\varepsilon_{2mn}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{2m}^{\Pi}$	...	$r_{1m2}$	...	...	$r_{2mn}$	$R_{2m}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\sigma_k$	$t_1$	$\varepsilon_{k11}^{\Pi}$	$\varepsilon_{k12}^{\Pi}$	$\varepsilon_{k13}^{\Pi}$	...	$\varepsilon_{k1n}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{k1}^{\Pi}$	$r_{k11}$	$r_{k12}$	$r_{k13}$	...	$r_{k1n}$	$R_{k1}$
	$t_2$	$\varepsilon_{k21}^{\Pi}$	$\varepsilon_{k22}^{\Pi}$	$\varepsilon_{k23}^{\Pi}$	...	$\varepsilon_{k2n}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{k2}^{\Pi}$	$r_{k21}$	$r_{k22}$	$r_{k23}$	...	$r_{k2n}$	$R_{k2}$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$t_m$	$\varepsilon_{km1}^{\Pi}$	$\varepsilon_{km2}^{\Pi}$	$\varepsilon_{km3}^{\Pi}$	...	$\varepsilon_{kmn}^{\Pi}$	$\bar{\varepsilon}_{km}^{\Pi}$	$r_{km1}$	$r_{km2}$	$r_{km3}$	...	$r_{kmn}$	$R_{km}$

Потім для кожного часу відліку  $t_m$  першого рівня навантаження  $\sigma_1$  розраховують відносні значення  $r_{1mn}$  абсолютних відхилень деформацій повзучості  $\varepsilon_{1mn}^{\Pi}$  зразків - близнюків від середніх значень  $\bar{\varepsilon}_{1m}^{\Pi}$  за формулою

$$r_{1mn} = \frac{\Delta\varepsilon_{1mn}^{\Pi}}{\bar{\varepsilon}_{1m}^{\Pi}} \cdot 100\% , \tag{4}$$

де  $\Delta\varepsilon_{1mn}^{\Pi}$  - абсолютні відхилення деформацій повзучості  $\varepsilon_{1mn}^{\Pi}$  зразків - близнюків від середніх значень при першому рівню навантаження  $\sigma_1$  визначаються з рівняння

$$\Delta\varepsilon_{1mn}^{\Pi} = \left| \varepsilon_{1mn}^{\Pi} - \bar{\varepsilon}_{1m}^{\Pi} \right| . \tag{5}$$

Для першого рівня навантаження  $\sigma_1$  дані розраховані за формулою (4) записуються до стовпчиків  $r_{km1}, r_{km2}, r_{km3}, \dots, r_{kmn}$ .

Аналогічно зазначеному розраховують відносні значення  $r_{kmn}$  абсолютних відхилень деформацій повзучості  $\varepsilon_{kmn}^{\Pi}$  зразків - близнюків від середніх значень  $\bar{\varepsilon}_{km}^{\Pi}$  для всіх призначених рівнів навантаження і всіх вибраних значень часу відліку. У результаті отримують набір даних, які вносять до стовпчиків  $r_{kmn}$

$$r_{kmn} = \frac{\Delta\varepsilon_{kmn}^{\Pi}}{\bar{\varepsilon}_{km}^{\Pi}} \cdot 100\% , \tag{6}$$

де  $\Delta\varepsilon_{kmn}^{\Pi}$  - абсолютні відхилення деформацій повзучості  $\varepsilon_{kmn}^{\Pi}$  зразків - близнюків від середніх значень при всіх призначених рівнях навантаження  $\sigma_k$  визначаються з рівняння

$$\Delta\varepsilon_{kmn}^{\Pi} = \left| \varepsilon_{kmn}^{\Pi} - \bar{\varepsilon}_{km}^{\Pi} \right| . \tag{7}$$

На основі отриманих даних табл. 1 розраховують наступні допоміжні суми:

а) суму квадратів всіх включених в розрахунок даних

$$D_1 = \sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n r_{kmn}^2 , \tag{8}$$

де  $k$  - число прийнятих рівнів статистичного навантаження;  $m$  - кількість відліків в різний час;

б) суму квадратів для кожного зразка, поділену на загальне число паралельних випробувань

$$D_2 = \frac{\sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^m R_{km}^2}{n}, \quad R_{km} = \sum_1^n \sqrt{r_{km}}; \quad (9)$$

в) суму квадратів підсумків по другому рівню детермінації, поділену на число даних в кожному блоці другого рівня

$$D_3 = \frac{\sum_{k=1}^k \left( \sum_{m=1}^m R_{km} \right)^2}{km}; \quad (10)$$

г) квадрат загального підсумку, поділений на загальне число даних, що аналізуються

$$D_4 = \frac{\left( \sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^m R_{km} \right)^2}{nm}. \quad (11)$$

Розраховують різниці  $D_i - D_j$  ( $i, j = 1, 2, 3, 4$ ), які записують в графу 2 таблиці 2.

У графу 3 записують число ступенів свободи, які необхідні для розрахунку вибірових дисперсій  $S_1^2, S_2^2, S_3^2$ . Формули для розрахунку відповідних дисперсій наведені в графі 4. Вибіркові дисперсії  $S_1^2, S_2^2, S_3^2$  використовують для оцінки компонентів генеральних дисперсій  $\delta_{\text{вочн}}^2, \delta_t^2, \delta_\sigma^2$ .

Таблиця 2. Результати дисперсійного аналізу дослідних даних на повзучість

Розсіяння	Сума квадратів в	Число ступенів свободи	Вибіркові дисперсії	Середні компоненти генеральних дисперсій	Генеральні дисперсії
1	2	3	4	5	6
Між рівнями першої детермінації – різні статичні навантаження	$D_3 - D_4$	$f_3 = k - 1$	$S_3^2 = \frac{D_3 - D_4}{k - 1}$	$\bar{S}_3^2 \approx mn\delta_\sigma^2 + n\delta_t^2 + \delta_{\text{вочн}}^2$	$\delta_\sigma^2$
Між рівнями другої детермінації – відліки у різні часові проміжки	$D_2 - D_3$	$f_2 = k(m - 1)$	$S_2^2 = \frac{D_2 - D_3}{k(m - 1)}$	$\bar{S}_2^2 \approx n\delta_t^2 + \delta_{\text{вочн}}^2$	$\delta_t^2$
Між паралельними експериментальними дослідями	$D_1 - D_2$	$f_1 = km(n - 1)$	$S_1^2 = \frac{D_1 - D_2}{km(n - 1)}$	$\bar{S}_1^2 \approx \delta_{\text{вочн}}^2$	$\delta_{\text{вочн}}^2$

Перш, ніж приступити до визначення компонентів генеральних дисперсій  $\delta_{\text{вочн}}^2, \delta_t^2, \delta_\sigma^2$ , за формулами, наведеними в графі 5 (табл. 2), перевіряють статистичну значущість відношень вибірових дисперсій  $\frac{S_2^2}{S_1^2}$  і  $\frac{S_3^2}{S_2^2}$ , використовуючи односторонній критерій Фішера  $F_{f_1, f_2}$  [8].

При оцінці значущості відношень вибірових дисперсій  $\frac{S_2^2}{S_1^2}, \frac{S_3^2}{S_2^2}$  можливі три варіанти:

а) якщо для 5-процентного рівня значущості (при 5-відсотковому рівні значущості з ризиком

можна стверджувати, що  $S_2^2 > S_1^2$ )

$$F_{f_2 f_1} < \frac{S_2^2}{S_1^2}, \quad (12)$$

де  $F_{f_1 f_2}$  – критерій Фішера, то середні компоненти генеральних дисперсій розраховуються за формулами, наведеними в графі 5 табл. 2;

б) якщо значення

$$F_{f_2 f_1} > \frac{S_2^2}{S_1^2}, \quad F_{f_2 f_1} < \frac{S_3^2}{S_2^2}, \quad (13)$$

то середні компоненти генеральних дисперсій  $\bar{S}_1^2$  і  $\bar{S}_2^2$  розраховують за формулами

$$\bar{S}_{1,2}^2 = \frac{f_1 S_1^2 + f_2 S_2^2}{f_1 + f_2}, \quad (14)$$

де  $f_1$  - число ступенів свободи для більшої дисперсії,  $f_1 = km(n-1)$ ;  $f_2$  - число ступенів свободи для меншої дисперсії,  $f_2 = k(m-1)$ ;

в) якщо значення

$$F_{f_2 f_1} > \frac{S_2^2}{S_1^2}; \quad F_{f_2 f_1} > \frac{S_3^2}{S_2^2}, \quad (15)$$

то  $S_1^2$  приймають рівною нулю і середні компоненти генеральних дисперсій  $\bar{S}_2^2$  і  $\bar{S}_3^2$  розраховують за формулою

$$\bar{S}_{3,2}^2 = \frac{f_2 S_2^2 + f_3 S_3^2}{f_2 + f_3}, \quad f_3 = k - 1. \quad (16)$$

Генеральні дисперсії  $\delta_{\text{вiдm}}^2$ ,  $\delta_t^2$ ,  $\delta_\sigma^2$  характеризують, відповідно:

$\delta_{\text{вiдm}}^2$  – дисперсію відтворюваності, що відображає відтворюваність результатів випробувань на зразках-близнюках розраховують з рівняння

$$\delta_{\text{вiдm}}^2 = \bar{S}_1^2; \quad (17)$$

$\delta_t^2$  – дисперсію впливу часу відліків, обумовлену нестабільністю результатів вимірювань в різні часові проміжки розраховують з рівняння

$$\delta_t^2 = \frac{\bar{S}_2^2 - \delta_{\text{вiдm}}^2}{n}; \quad (18)$$

$\delta_\sigma^2$  – дисперсію, викликану зміною значення статистичного навантаження розраховують з рівняння

$$\delta_\sigma^2 = \frac{\bar{S}_3^2 - n\delta_t^2 - \delta_{\text{вiдm}}^2}{mn}. \quad (19)$$

Однорідність цих дисперсій (приналежність до однієї і тієї ж генеральної дисперсії) визначають за критерієм Бартлета [9, 10]

$$B = \frac{2,303}{C} \left( f \lg \bar{\delta}^2 - \sum_1^i f_i \lg \delta_i^2 \right), \quad (20)$$

де

$$C = 1 + \frac{1}{6} \left[ \frac{1}{km(n-1)} + \frac{1}{k(m-1)} + \frac{1}{k-1} - \frac{1}{kmn-1} \right]; f = kmn-1; \quad (21)$$

$$\bar{\delta}^2 = \frac{km(n-1) \delta_{\text{відм}}^2 + k(m-1) \delta_t^2 + (k-1) \delta_\sigma^2}{kmn-1}. \quad (22)$$

Якщо знайдена величина критерію Бартлета  $B$  перевершує табличні значення  $\chi_{0,05}^2$  [9, 10] при 5-відсотковому рівні значущості і числі ступенів свободи ( $f = kmn-1$ ), то гіпотезу про однорідності генеральних дисперсій  $\delta_{\text{відм}}^2$ ,  $\delta_t^2$ ,  $\delta_\sigma^2$  відкидають, і коефіцієнти варіації визначають за формулами

$$v_{\text{відм}}(\%) = \sqrt{\delta_{\text{восп}}^2}, v_t(\%) = \sqrt{\delta_t^2}, v_\sigma(\%) = \sqrt{\delta_\sigma^2}. \quad (23)$$

Допустима величина кожного з коефіцієнтів варіації не повинна перевищувати  $v_i \leq 15\%$ . Якщо деякі, розраховані коефіцієнти варіації перевищують значення у 15%, то аналізують відповідні компоненти дисперсій  $\delta_{\text{відм}}^2$ ,  $\delta_t^2$ ,  $\delta_\sigma^2$ , усувають причини розкиду дослідних даних і повторюють необхідні досліди до отримання стабільних результатів заданої точності випробувань.

Довірчий інтервал у цьому випадку, для найбільш ймовірних деформацій повзучості  $\bar{\varepsilon}^{\text{II}}$  визначають з ймовірністю  $P = 0,95$  з нерівності

$$\bar{\varepsilon}^{\text{II}} \left( 1 - t_{0,95,f} \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{f}} \right) < \varepsilon_{\text{ген.сук}}^{\text{II}} < \bar{\varepsilon}^{\text{II}} \left( 1 + t_{0,95,f} \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{f}} \right), \quad (24)$$

де  $V_{\text{max}}$  - один з коефіцієнтів варіації  $v_{\text{відм}} = \sqrt{\delta_{\text{восп}}^2}$ ,  $v_t = \sqrt{\delta_t^2}$ ,  $v_\sigma = \sqrt{\delta_\sigma^2}$ , що має найбільше значення і не перевищує значення у 15%;  $f = kmn$ ;  $t_{0,95,f}$  - коефіцієнт Ст'юдента [8].

Якщо критерій Бартлета

$$B < \chi_{0,05}^2, \quad (25)$$

то сумарний коефіцієнт варіації визначають за формулою

$$v_{\text{сум}}(\%) = \sqrt{\delta_{\text{відм}}^2 + \delta_t^2 + \delta_\sigma^2}. \quad (26)$$

Допустима величина  $v_{\text{сум}} \leq 15\%$ . Якщо сумарний коефіцієнт варіації перевищує 15%, аналізують компоненти дисперсій  $\delta_{\text{відм}}^2$ ,  $\delta_t^2$ ,  $\delta_\sigma^2$ , усувають причини розкиду дослідних даних і продовжують досліди до отримання стабільних результатів заданої точності випробувань. Довірчий інтервал для найбільш ймовірних деформацій повзучості  $\bar{\varepsilon}^{\text{II}}$  визначають з ймовірністю  $P = 0,95$  з нерівності

$$\bar{\varepsilon}^{\Pi} \left( 1 - t_{0,95,f} \frac{V_{\text{сум}}}{\sqrt{f}} \right) < \varepsilon_{\text{ген.сук}}^{\Pi} < \bar{\varepsilon}^{\Pi} \left( 1 + t_{0,95,f} \frac{V_{\text{сум}}}{\sqrt{f}} \right), \quad (27)$$

де  $f = k m n$ ;  $t_{0,95,f}$  – коефіцієнт Ст'юдента [8].

Значення усереднених деформацій повзучості для кожного рівня навантаження і відповідного відліку часу записують в таблицю та представляють за допомогою графіків з зазначенням довірчих інтервалів (рис. 2).

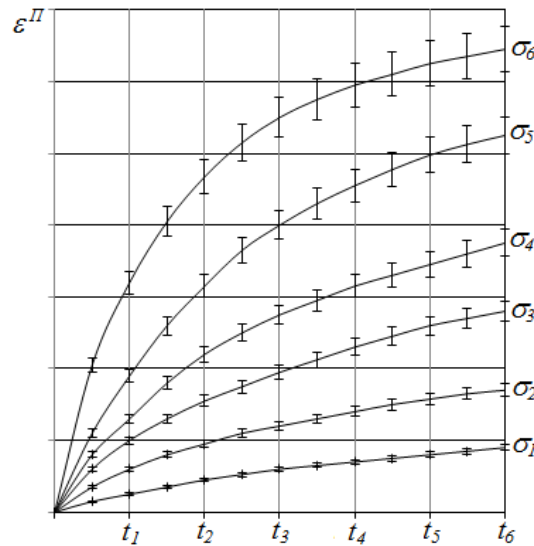


Рис. 2. Приклад побудови усереднених кривих повзучості

Таблиця усереднених деформацій повзучості повинна містити чіткий і короткий заголовок із зазначенням базових значень температури  $T_0$ , вологості матеріалу  $\varphi_0$  і умовно-миттєвих (пружних) деформацій  $\varepsilon_k^0$ . Кожне значення функції  $\bar{\varepsilon}^{\Pi}(t)$  і відповідне їй значення незалежного змінного відліку часу  $t$  повинно стояти в одному рядку. Чисельні значення  $\bar{\varepsilon}^{\Pi}(t)$  розташовують так, щоб коми, що відокремлюють десяткові знаки, містилися в кожному стовпці на одній вертикалі. Для аргументу  $t$  вибирають наближені та зручні для подальшої обробки експериментальних даних значення. Кожен стовпець у таблиці повинен мати заголовок, що вказує величину статичного навантаження і одиницю виміру, у якій протабульовані в ньому величини.

Графіки будують в такій послідовності: вибирають тип паперу (міліметровка, логарифмічна) і масштаб координат, наносять шкалу, позначення осей координат і експериментальні дані. Точки кожної кривої відзначають відповідним символом (трикутник, коло, квадрат і т.п.). Через нанесені точки проводять криву. Графік первинних іспитів повинен мати найменування з зазначенням джерела представлених на ньому даних. Після обробки експериментальних даних методом комплексно-дисперсійного аналізу згладжені графічні дані знову записують в таблицю.

Згладжені табличні і графічно зображені дані, перестроюють у ізохронні криві в координатах  $\sigma - \bar{\varepsilon}^{\Pi}(t_m)$  при заздалегідь обраних значеннях інтервалів часу  $t_m$  (рис. 3).

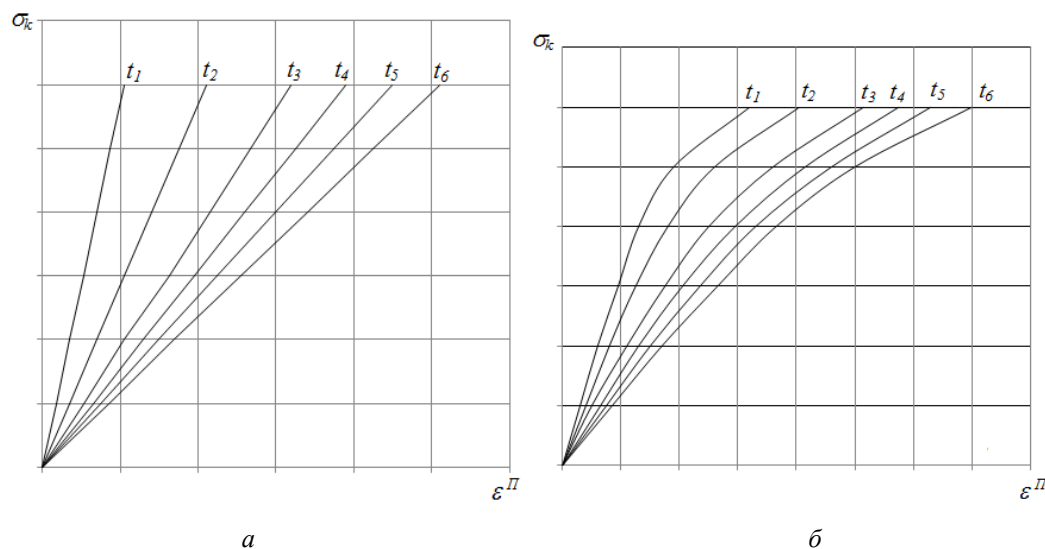


Рис. 3. Приклад побудови ізохронних кривих:  
**a** – лінійна в'язкопружність; **б** – нелінійна в'язкопружність

На ізохронних кривих визначають точки, що відповідають границям лінійної залежності між напруженнями та деформаціями. Отримані границі відповідають області лінійної в'язкопружності та параметрам матеріалу в межах яких повинен працювати текстильний матеріал, забезпечуючи формостійкість як окремих деталей, так і одягу в цілому. Визначивши область лінійної в'язкопружності текстильного матеріалу, подальшу обробку експериментальних даних припиняють і складають протокол випробувань.

Протокол випробувань на повзучість повинен містити:

- а) повну характеристику досліджуваного матеріалу, його артикул, держава виробник;
- б) дані про спосіб і час виготовлення зразків – близнюків та їх кількість;
- в) ескіз зразків – близнюків із зазначенням розмірів;
- г) опис системи навантаження, значення температур дослідження повзучості  $T^II$  °C та навколишнього середовища  $T_0$  °C;
- д) умовно – миттєвий модуль пружності  $E_0$  та метод його визначення;
- е) величину короточасної міцності та граничних деформацій;
- ж) числовий та графічний запис усереднених деформацій повзучості та відновлення із зазначенням дати початку і кінця випробувань, швидкості навантаження та розвантаження, величини залишкової деформації  $\mathcal{E}_{зал}$ ;
- з) результати обробки експериментальних даних методом комплексно – дисперсійного аналізу (табл. 1 та табл. 2), формули, за якими визначались експериментальні характеристики і проводилась обробка експериментальних даних;
- к) таблиці первинного запису дослідних даних.

Процедура обробки кривих відновлення після розвантаження зразків – близнюків аналогічна



описаній вище. При цьому треба мати на увазі, що часовий термін процесу відновлення повинен, мінімум у три рази перевищувати часовий термін процесу повзучості, що в свою чергу надасть можливість визначити значення залишкової деформації  $\varepsilon_{зал}$ .

### **Висновки**

Запропоновано метод обробки експериментальних даних в'язкопружних досліджень на повзучість з використанням комплексно – дисперсійного аналізу.

Наведена послідовність як розрахункових так і методичних кроків при дослідженні повзучості та відновлення матеріалів, що дозволяє зменшити до мінімуму методичну похибку від часового впливу на результати досліджень та похибок від метрологічних та інструментальних факторів.

Використання методу комплексно-дисперсійного аналізу дозволяє шляхом статистичної обробки первинних експериментальних даних з'ясувати природу статистичного розкиду і отримати найбільш достовірні значення досліджуваного процесу повзучості та відновлення матеріалу.

Метод обробки викладений стосовно випробувань на повзучість, проте він може бути поширений і на інші випробування.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Бугаков И.И. Ползучесть полимерных материалов. – М.: Наука.–1973.–288 с.
2. Аскадский А.А. Деформация полимеров. – М.: Химия.–1971.–448 с.
3. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению: Учебное пособие для вузов. Кобляков А.И., Кукин Г.Н., Соловьев А.Н. и др. – М.: Легпромбытиздат. –1986.–344 с.
4. Лебедев Л.М. Машины и приборы для испытаний полимеров. – М.: Машиностроение.–1987.–212 с.
5. Тернер С. Механические испытания пластмасс. – М.: Машиностроение. – 1979. –175 с.
6. Артеменко Л.Ф., Кострицкий В.В. Випробувальна установка для дослідження повзучості, коефіцієнтів теплового розширення полімерних та текстильних матеріалів // Волков. О.І., Кострицкий В.В. Інноваційні розробки та технології науковців Київського національного університету технологій та дизайну. – К.: Світ успіху, 2010. – с.31 – 33.
7. Кострицкий В.В. Методика и испытательная установка для исследования динамических свойств полимерных плёночных материалов//«Заводская лаборатория», –1990, т. 56, –№ 5. – с. 125–130.
8. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука.–1965.– 356 с.
9. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности). – М.: Легкая индустрия, –1974.– 262 с.
10. Г. Корн и Т. Корн. Справочник по математике. – М.: Наука. – 1974. – 832 с.