

УДК 677.11.021

**КУЗЬМИНА Т.О.**

Херсонський національний технічний університет

**ТОЛМАЧОВ В.С.**

Глухівський національний педагогічний університет ім. О.Довженка

**ЄДИНОВИЧ М.Б.**

Херсонський національний технічний університет

## **ВИКОРИСТАННЯ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ ШУХАРТА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ЛЛЯНОГО ВОЛОКНА ЗА ДОПОМОГОЮ НОВИХ ПРИЛАДІВ**

*У статті запропоновано методологію підтвердження відтворюваності та стабільності результатів вимірювань показників якості лляного волокна на розробленому комплексі приладової техніки з використанням контрольних карт Шухарта.*

***Ключові слова:** лляне волокно, показники якості, контрольні карти Шухарта, прецизійність, невизначеність.*

***Кузьмина Т.О., Толмачев В.С., Единович М.Б. Использование контрольных карт Шухарта для оценки стабильности процесса определения качества льняного волокна с помощью новых приборов. В статье представлена методология подтверждения воспроизводимости и стабильности результатов измерений показателей качества льняного волокна на разработанном комплексе приборной техники с использованием контрольных карт Шухарта.***

***Ключевые слова:** льняное волокно, показатели качества, контрольные карты Шухарта, прецизионность, неопределенность.*

***Kuzmina T.O., Tolmachov V.S., Yedynovych M.B. Using Shewhart control charts to assess the stability of the process to determine the quality of flax fiber using new devices. The article presents the developed methodology confirm reproducibility and stability measurements as indicators of flax fiber complex instrument developed techniques using Shewhart control cards.***

***Keywords:** flax fiber, quality, control cards Shewhart, precision, uncertainty.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** На сьогоднішній день бракує сучасних вітчизняних приладів для визначення показників якості лляного волокна, а існуючі імпорتنі аналоги подібних приладів коштують чималі гроші. Тому розробка приладів і методів, які б відповідали світовим стандартам, є актуальною та необхідною задачею.

**Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми.** У результаті аналізу літературних і патентних джерел, а також опису існуючих приладів та їх технічної документації розроблено макетні зразки нових приладів для дослідження фізико-механічних властивостей льоноволокна, принцип дія яких базується на вимірюванні фотодатчиком інтенсивності базових складових світла (ПВПК-1) що відбивається від поверхні досліджуваного зразка, визначенні інтенсивності інфрачервоного випромінювання, яке проходить крізь досліджуваний матеріал (ПВПС-1) та на звукопоглинальній здатності лляного волокна (ПВПЗ-1), що дозволяє об'єктивно охарактеризувати його за показниками кольору, лінійної щільності, розривного навантаження та гнучкості [1-4].

При розробці нових приладів вимірювання показників якості не можна гарантувати, що запропоновані методи вимірювань відповідають вимогам стандартів за правильністю, навіть якщо вони є задовільними з точки зору прецизійності. Згідно з вимогами нормативно-технічної документації [5] необхідно оцінювати результати вимірювань на ступінь відтворюваності та прецизійності.

Контрольні карти Шухарта забезпечують візуальний і статистичний контроль стабільності процесу вимірювання та відіграють роль діагностичного інструменту, призначеного для визначення наявності або відсутності варіабельності процесу вимірювання.

**Цілі статті.** Мета роботи – розробити методологію підтвердження стабільності результатів вимірювань показників якості лляного волокна на новому комплексі приладової техніки з використанням контрольних карт Шухарта.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Під час оцінювання стабільності результатів вимірювань в межах лабораторії необхідно перевіряти як їх прецизійність, так і правильність, і підтримувати обидва ці показники на необхідних рівнях протягом тривалого періоду часу.

Для перевірки нормальності розподілу експериментальних даних визначаються статистичні толерантні інтервали згідно з [7], що дозволяє встановити показання приладів, які не відносяться до генеральної сукупності. Толерантний інтервал визначає, що з імовірністю  $(1 - \alpha)$  він вміщує не менше ніж частку  $p$  усієї сукупності. Двосторонній толерантний інтервал розраховується за формулою (1):

$$\begin{aligned} USL &= \bar{X} + k_4 \cdot \sigma_{p;1-\alpha} \cdot S; \\ LSL &= \bar{X} - k_4 \cdot \sigma_{p;1-\alpha} \cdot S, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $USL, LSL$  – найбільше та найменше граничне значення толерантних інтервалів;

$k_4$  – табличний коефіцієнт;

$S$  – вибіркове стандартне відхилення.

Оцінка можливості збігу параметрів проводиться з використанням коефіцієнтів  $C_p$  (потенційна можливість) і  $C_{pk}$  (усереднена можливість).

$C_p$  та  $C_{pk}$  розраховуються за формулами (2-4):

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6S}, \quad (2)$$

де  $USL, LSL$  – найбільше та найменше значення меж толерантного інтервалу;

$S$  – стандартне відхилення з середніх розмахів.

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{USL - \bar{X}}{3S}, \frac{\bar{X} - LSL}{3S} \right]; \quad (3)$$

$$S = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (4)$$

де  $d_2$  – табличний коефіцієнт.

Якщо  $C_p = C_{pk}$ , то результати процесу вимірювання є центрованими. Очікуваний рівень невідповідності визначається згідно з [8].

Оцінка точності розробленого приладу проводиться згідно з ДСТУ ISO/TR 7066-1:2007 [9]. Відповідно стандарту визначається розширена та стандартна невизначеність (точність) отриманих результатів вимірювання.

Нижче наведено приклад оцінки стабільності результатів вимірювань, отриманих за допомогою приладу ПВПК-1, призначеного для визначення колірних характеристик льоноволокна із застосуванням карт Шухарта. Для цього випадково обирали дослідну партію лляного волокна, з якої відбирали двадцять зразків і визначали групу кольору кожного з них запропонованим методом. Результати статистичної обробки даних наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Вихідні дані контрольної карти при застосуванні приладу ПВПК-1**

Назва показника	Значення для підгрупи									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Група кольору	2,3	2,7	2,5	2,5	2,1	2,6	2,7	2,4	2,3	2,1
Ковзний розмах		0,4	0,2	0,0	0,4	0,5	0,1	0,3	0,1	0,2
	Значення для підгрупи									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Група кольору	2,2	2,1	2,6	2,4	2,3	2,4	2,1	2,4	2,4	2,5
Ковзний розмах	0,1	0,1	0,5	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,1

Середнє значення групи кольору визначали за формулою (5), а ковзний розмах значень – за формулою (6):

$$\bar{X} = CL = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{20}}{20}; \quad (5)$$

$$\bar{R} = \frac{r_1 + r_2 + \dots + r_{19}}{19}. \quad (6)$$

Центральну лінію контрольної карти індивідуальних значень розраховували за формулою (5). Було визначено, що  $CL = 2,38$ . Для значення  $\bar{X}$  розраховували нижні та верхні контрольні межі за формулами (7):

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{X} + E_2 \bar{R}; \\ LCL &= \bar{X} - E_2 \bar{R}; \\ E_2 &= \frac{3}{d_2}, \end{aligned} \quad (7)$$

де  $UCL$  – значення верхньої контрольної межі;

$LCL$  – значення нижньої контрольної межі;

$E_2, d_2$  – табличні коефіцієнти.

Користуючись таблицею коефіцієнтів [6], знаходимо значення  $d_2$ , яке дорівнює 1,128. Отже, значення верхньої межі  $UCL = 2,94$ , а нижньої  $LCL = 1,82$ . Для значення  $\bar{R}$  розраховували нижні та верхні контрольні межі за формулами (8):

$$\begin{aligned} UCL &= D_4 \bar{R}; \\ CL &= \bar{R} = 0,21; \\ LCL &= D_3 \bar{R}, \end{aligned} \quad (8)$$

де  $D_3, D_4$  – табличні коефіцієнти.

Користуючись таблицею коефіцієнтів, для  $n = 2$  знаходимо значення  $D_4 = 3,267$  і  $D_3 = 0$ . Тоді контрольні межі будуть мати такі значення:  $UCL=0,69$ , а  $LCL = 0$ . Отримані дані у вигляді  $\bar{X}$  і  $\bar{R}$  - карт графічно відображено на рис. 1.

Аналізуючи контрольну  $\bar{X}$  - карту (рис. 1, а), можна побачити, що середні значення показань приладу не виходять за контрольні межі  $UCL$  та  $LCL$ . Це свідчить, що вимірювання є стабільним, а результати вимірювання – статистично керованими.

Для перевірки нормальності розподілу визначали статистичні толерантні інтервали згідно з [7] за формулою (1). Двосторонній толерантний інтервал розраховували за формулою (1):

За табл. D.4 вищезазначеного стандарту [7] знаходили значення коефіцієнта  $k_4$  для об'єму вибірки  $n = 20$ , довірчої ймовірності  $(1 - \alpha)=0,95$  і частки сукупності  $p = 0,99$ . Згідно з цією таблицею  $k_4 = 3,621$ , а стандартне відхилення  $S$  узятій вибірці становить  $0,19$ .

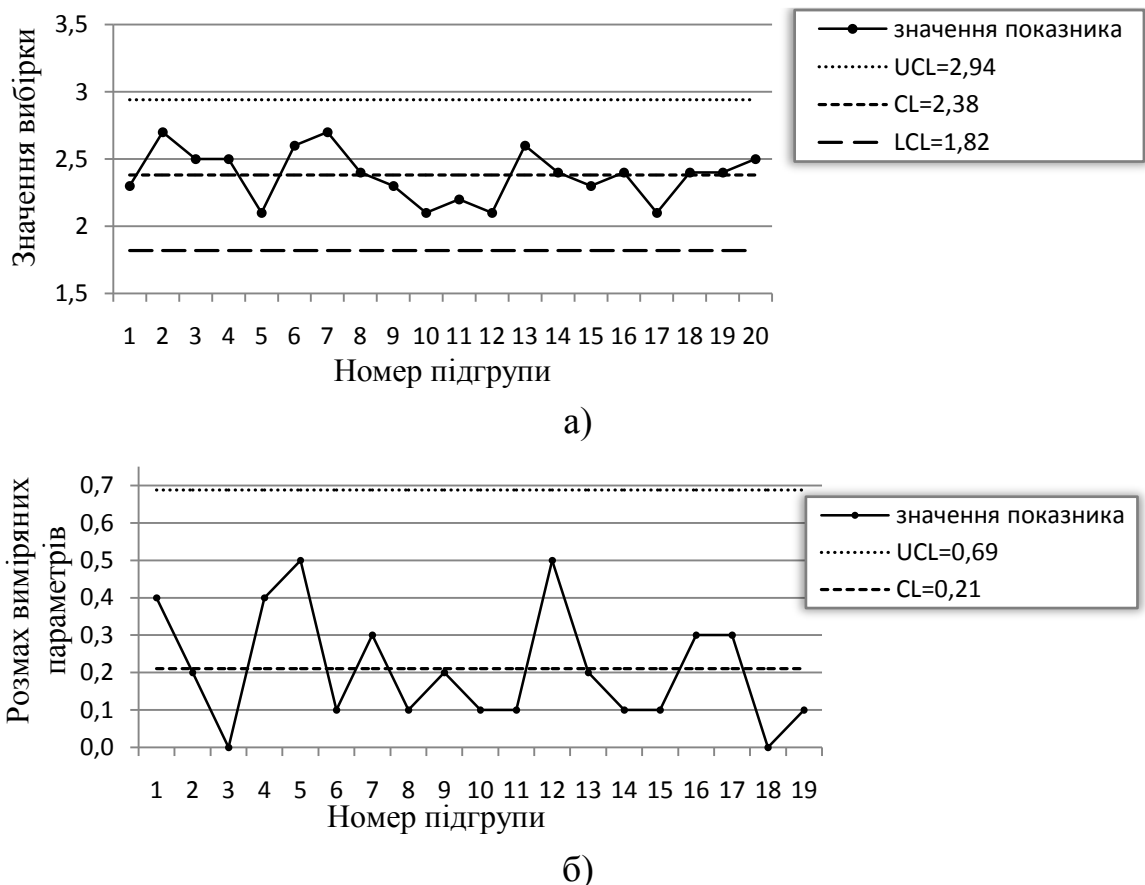


Рис. 1. Графічне зображення контрольних карт індивідуальних значень (вимірювання приладом ПВПК-1): а) карта індивідуальних значень,  $\bar{X}$  -карта; б) карта розмахів значень,  $\bar{R}$  -карта

У результаті розрахунків було визначено межі толерантного інтервалу –  $USL = 3,08$  та  $LSL = 1,68$ . Оцінку можливості збігу параметрів проводили при використанні відповідних показників. Також визначено показники можливості процесу за коефіцієнтами  $C_p$  (потенційна можливість) і  $C_{pk}$  (усереднена можливість).  $C_p$  та  $C_{pk}$  за формулами (2-4).

При табличному коефіцієнті  $d_2 = 2,059$  отримуємо  $C_p = 1,25$ ,  $C_{pk}=1,25$ . Оскільки  $C_p = C_{pk}$ , то результати процесу вимірювання є центрованими. За загальноприйнятою оцінкою при  $1,00 < C_p < 1,33$  результати процесу вимірювання можна вважати задовільними. Рівень невідповідності отриманих результатів вимірювання визначається відносно значень  $C_p$  і  $C_{pk}$ . Очікуваний рівень невідповідності згідно з [8] становить 0,02 %.

Згідно з [9] було проведено оцінку невизначеності (точності) отриманих результатів вимірювання. Для цього протягом 4 днів здійснювали вимірювання показника кольору лляного волокна однієї партії запропонованим приладом ПВПК-1. Кожного дня проводили по 8 вимірювань. Під час статистичної обробки результатів вимірювання дотримувалися розробленої методології:

- 1) Виключення з числа результатів вимірювання тих, які мають грубі промахи й систематичні похибки.
- 2) Обчислення середнього арифметичного за групами відкоректованих результатів вимірювання за формулою (9):

$$\bar{X}_{pi} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K X_{pi}, \quad (9)$$

де  $K$  – кількість вимірювань у групі – 8;

$X_{pi}$  – група кольору, визначена запропонованим методом.

- 3) Знаходження найкращої оцінки вимірюваної величини  $\bar{X}_p$  як середнього арифметичного  $\bar{X}_{pi}$  за формулою (10):

$$\bar{X}_p = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \bar{X}_{pi} = 2,4, \quad (10)$$

де  $J$  – кількість груп – 4.

- 4) Визначення оцінки внутрішньогрупової дисперсії  $S_s^2$  за формулою (11):

$$S_s^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (\bar{X}_{pi} - \bar{X}_p)^2. \quad (11)$$

- 5) Знаходження експериментальної дисперсії середніх арифметичних груп за формулою (12):

$$S_{\bar{X}_{pi}}^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J \bar{X}_{pi} - \bar{X}_p = 0,0023. \quad (12)$$

Результати статистичної обробки отриманих даних наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Експериментальні дані вимірювання зразків волокна запропонованим приладом ПВПК-1 та результати їх статистичної обробки**

Група	1	2	3	4	$\bar{X}_p$	$\bar{X}_p$ min	$\bar{X}_p$ max
$x_1$	2,3	2,2	2,1	2,0	2,2	2,0	2,3
$x_2$	2,7	2,5	2,6	2,0	2,5	2,0	2,7
$x_3$	2,5	2,1	2,3	3,0	2,5	2,1	3,0
$x_4$	2,5	2,7	2,8	3,0	2,8	2,5	3,0
$x_5$	2,1	2,6	2,4	2,0	2,3	2,0	2,6
$x_6$	2,6	2,8	2,6	2,0	2,5	2,0	2,8
$x_7$	2,7	2,2	2,2	3,0	2,5	2,2	3,0
$x_8$	2,4	2,7	2,4	2,0	2,4	2,0	2,7
$\bar{X}_{pi}$	2,5	2,5	2,4	2,4	2,5	2,4	2,5
$S_i^2$	0,04	0,07	0,05	0,27			

б) Визначення двох незалежних оцінок усередненої внутрішньогрупової дисперсії отриманих результатів вимірювання за формулами (13) і (14):

$$S_I^2 = K S_{\bar{X}_{pi}}^2 = \frac{K}{J-1} \sum_{j=1}^J \bar{X}_{pi} - \bar{X}_p = 8 \cdot 0,0023 = 0,02; \quad (13)$$

$$S_{II}^2 = \frac{1}{J(K-1)} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \bar{X}_{pi} - \bar{X}_p = 0,11. \quad (14)$$

Число ступенів свободи для  $S_I^2$  дорівнює  $J-1 = 3$ , а для  $S_{II}^2$  –  $J(K-1) = 4(8-1) = 28$ .

7) Обчислення розрахункового значення критерію Фішера за формулою (15):

$$F_{емп.} = \frac{S_1^2}{S_2^2} = 5,5, \quad (15)$$

де  $S_1^2$  і  $S_2^2$  – найбільша та найменша дисперсії.

Критичне значення  $F_{табл.}$  для довірчої ймовірності 0,95 при числі ступенів свободи 3 і 28 знаходили за таблицею критичних значень:  $F_{табл.} = 8,62$ . Оскільки  $F_{емп.} < F_{табл.}$ , то однорідність отриманих даних вважається задовільною. Оцінену

дисперсію визначали за формулою (16):

$$S^2 = \frac{S_{\bar{X}_p}^2}{J} = \frac{0,0023}{4} = 0,0006. \quad (16)$$

Число ступенів свободи  $J - 1 = 3$ .

Розширену невизначеність  $U$  результату вимірювань розраховували за формулою (17):

$$U = t_p S = 4,3 \cdot 0,024 = 0,1, \quad (17)$$

де  $t_p = 4,3$  – критерій Стьюдента для числа ступенів свободи 3 та довірчої ймовірності 0,95.

$$U_{\text{відн.}} = \frac{U}{\bar{X}_p} \cdot 100 \quad (18)$$

Відносна похибка досліду дорівнює 4,51 %, довірчий інтервал вимірювань –  $\pm 0,11$ , а відносна розширена невизначеність – 4,22 %. Отже, результат визначення групи кольору з урахуванням похибки становить  $2,4 \pm 0,11$ . Цей результат є задовільним, оскільки розмір похибки менше ніж 5 %.

Аналогічно за вищенаведеною методологією з застосуванням карт Шухарта було проведено визначення відтворюваності та прецизійності розроблених приладів ПВПС-1 та ПВПЗ-1. Відносна похибка для приладу ПВПС-1 складає 1,32%, довірчий інтервал вимірювань –  $\pm 13,7$ . Відносна розширена невизначеність складає 1,87%, результат є задовільним, оскільки розмір похибки менше 5%.

Для приладу ПВПЗ-1 статистичні толерантні інтервали для об'єму вибірки  $n = 20$ , рівня довіри  $(1 - \alpha) = 0,95$  і частки сукупності  $p = 0,99$ :  $USL = 1472,37$  та  $LSL = 941,63$ , показники здатності:  $C_p = 1,02$ ,  $C_{pk} = 1,02$ . Результати процесу вимірювання є центрованими, оскільки  $C_p = C_{pk}$ , та задовільними з рівнем невідповідності 0,23%. Відносна похибка досліду для довірчої ймовірності 0,95, складає 1,99%, довірчий інтервал вимірювань –  $\pm 24,8$ . Відносна розширена невизначеність 4,7%, результат вимірювань з урахуванням похибки є задовільним, оскільки розмір похибки менше 5%.

### **Висновки та перспективи подальших досліджень.**

1. Отримані результати показують, що контрольні карти Шухарта є одним з найзручніших і ефективних статистичних інструментів для аналізу результатів забезпечення якості випробувань і їх візуалізації.

2. Результати вимірювань розробленими приладами зразків волокна, відібраного з однієї партії та однорідного за своїми фізико-механічними властивостями, є стабільними й статистично керованими. Очікуваний рівень невідповідності отриманих результатів для приладу ПВПК-1 становить 0,02%, для



приладу ПВПС-1 – 0,01%, приладу ПВПЗ-1 – 0,23%. Розрахована розширена відносна невизначеність результатів вимірювання для розроблених приладів становить відповідно: 4,22%, 1,87% і 4,7%. Розмір похибки вимірювань усіх приладів менше ніж 5%.

3. Розроблена методологія підтвердження стабільності результатів вимірювання показників якості лляного волокна може бути використана під час подальшого впровадження нових приладів у нормативно-технічні документи на лубоволокнисті матеріали.

### Література

1. Пат. 43165 Україна, МПК G 01 B 11/00. Спосіб визначення лінійної щільності та ступеня вимочування волокна /Толмачов В.С., Кузьміна Т.О., Гілязетдінов Р.Н., Коропченко С.П., Москаленко Б.І.; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № u2009 00730; заявл. 02.02.09; опубл. 10.08.09, Бюл. №15.
2. Пат. 47840 Україна, МПК G 01 N 33/36. Пристрій для визначення лінійної щільності та ступеня вилежаності, вимочування волокна / Толмачов В.С., Кузьміна Т.О., Гілязетдінов Р.Н., Коропченко С.П., Москаленко Б.І.; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № u2009 09184; заявл. 07.09.09; опубл. 25.02.10, Бюл. № 4.
3. Пат. 53463 Україна, МПК G 01 B 11/00. Спосіб визначення лінійної щільності волокнистих матеріалів / Толмачов В.С., Кузьміна Т.О., Гілязетдінов Р.Н., Коропченко С.П., Москаленко Б.І.; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № u2010 03573; заявл. 29.03.10; опубл. 11.10.10, Бюл. № 19.
4. Пат. 76375 Україна, МПК G 01 N 33/36. Спосіб визначення якості льоносировини / Толмачов В.С., Кузьміна Т.О.; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № u2012 00907; заявл. 30.01.12; опубл. 30.01.13, Бюл. № 1.
5. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений: ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. – [Введен 2002-11-01]. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 62 с. – (Государственный стандарт).
6. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта: ГОСТ Р 50779.42-1999. – [Введен 2000-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 32 с. – (Государственный стандарт).
7. Статистическое представление данных. Определение статистических толерантных интервалов: ГОСТ Р 16269-6-2005. – [Введен 2005-06-30]. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 24 с. – (Государственный стандарт).
8. Статистические методы. Показатели возможностей процессов. Основные методы расчета : ГОСТ Р 50779.44-2001. – [Введен 2002-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 20 с. – (Государственный стандарт).
9. Оцінення невизначеності під час калібрування та застосування приладів вимірювання витрати. Частина 1. Лінійні калібрувальні характеристики: ДСТУ ISO/TR 7066-1:2007. – [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 24 с. – (Національний стандарт України).

Стаття поступила в редакцію 05.12.2014 р.