

УДК 658.52.011.56

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ  
СТАТИСТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ  
НАТЯГУ ПОЛОТНА ПАПЕРУ  
У РУЛОННИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИНАХ**

© В. Ф. Морфлюк, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**Разработан способ автоматизации процессов статистического вычисления натяжения полотна бумаги на рулонных печатных машинах для повышения точности обработки результатов измерений, обеспечивающий объективность измерений в реальном масштабе времени на основе цифровых средств измерения и обработки при реализации проблемно-ориентированных программных средств.**

**The method of automation of processes of statistical calculation of pull of linen of paper on web printing-presses for the rise of exactness of treatment of results of measuring is developed, providing objectivity of treatment of measuring in the real time during realization of the problem-oriented program facilities.**

**Постановка проблеми**

Якість друкованої продукції при можливих змінах у перехідних режимах роботи багатосекційних рулонних друкарських машин в значній мірі залежить від натягу полотна паперу стрічкоживильного та стрічкономотувального пристроїв, що вимагає розробку нових методів, підходів та алгоритмів для побудови процесів визначення та стабілізації натягу полотна у реальному масштабі часу.

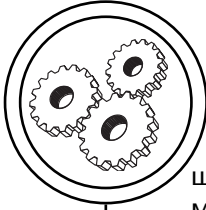
Визначення та стабілізації натягу полотна паперу в сучасних умовах будується на методах статистичної обробки результатів вимірювання, які забезпечують підвищення вірогідності та точності визначення натягу полотна при виявленні аномальності нормального розподілення вимірів та при розробці засобів автоматизації обчислення ймовірності

вимірів та їх корекції дозволяє створювати засоби регулювання реального масштабу часу.

Це показує напрямок для забезпечення якості друкованої продукції рулонних друкарських машин за рахунок автоматизації процесів визначення та стабілізації натягу полотна, що є актуальною проблемою побудови сучасних систем автоматичного регулювання натягу полотна.

**Аналіз попередніх досліджень**

Тенденції процесів визначення та регулювання натягу полотна стрічкоживильного та стрічкономотувального пристроїв та їх математичного моделювання показані у роботах [1—4], але не показано підходів статистичного визначення натягу полотна та його стабілізації та їх автоматизації у рулонних друкарських ма-



шинах, що вимагає розробки методів і алгоритмів, які забезпечують вірогідність статистичного визначення натягу полотна при виявленні аномальності нормального розподілення вимірів за рахунок об'єктивного обчислення значення ймовірності експериментальних вимірів та їх корекції у реальному масштабі часу.

### Мета дослідження

Розробка способу автоматизації процесів статистичного визначення натягу полотна у рулонних друкарських машинах за критерієм  $\chi^2$  та корекції аномальності вимірів за критерієм Шовене на основі об'єктивного обчислення значення ймовірності у реальному масштабі часу при застосуванні проблемної реалізації програмного забезпечення.

### Результати проведеного дослідження

Автоматизація процесів статистичного визначення натягу полотна стрічкоживильного та стрічкономотувального пристроїв у рулонних друкарських машин [1, 2, 4, 6] потребує мінімізації реального масштабу часу, який витрачається для обробки значення натягу, на основі загального часу необхідного для визначення параметрів та їх регулювання у стрічкопровідній системі при переході від однієї секції друку до іншої. Так час, який відводиться для статистичного визначення натягу полотна стрічкоживильного або стрічкономотувального пристрою у реальному масштабі часу можливо визначити:

$$\tau_n = \frac{\tau_{стс}}{k_{роз} * (N + R_n)},$$

де  $\tau_n$  — час для статистичного визначення натягу полотна стрічкоживильного або стрічкономотувального пристрою;  $\tau_{стс}$  — загальний реальний масштаб часу, який визначається:

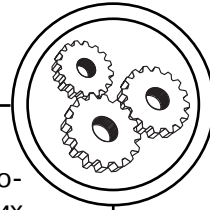
$$\tau_{стс} = \frac{\pi \times D}{V_{пол}},$$

та який можливо приблизно оцінити — 100 мсек (при швидкості  $V_{пол} = 5$  м/с та діаметрі циліндру  $D = 160$  мм);  $D$  — діаметр формного циліндра;  $V_{пол}$  — швидкість полотна паперу;  $N$  — кількість секцій друку у стрічкопровідній системі;  $R_n$  — кількість процесів регулювання натягу;  $k_{роз}$  — коефіцієнт розподілення часу на визначення параметрів та їх регулювання (у загальному випадку = 2).

Тому час, який відводиться для статистичного визначення натягу полотна стрічкоживильного або стрічкономотувального пристрою, не повинен перебільшувати часу обчисленого за даним виразом:

$$\tau_n = \frac{\pi \times D}{V_{пол} \times k_{роз} * (N + R_n)}.$$

Згідно обчислення час для визначення натягу повинен задовільняти значенню  $t_{макс} \leq 4,2$  мс (при чотирьох секції друку). У зв'язку з цим час на вимірювання натягу обмежується максимальним часом  $t_{макс}$ , що у свою чергу обмежує кількість вимірів на основі аналогово-цифрового перетворення та потребує мінімізації математичних виразів



для статистичної обробки значення натягу, як найкращої та достовірної оцінки при розподіленні вимірів у відповідності з законом Гаусса  $f_{x,\sigma}(X)$  [5, 7—9].

Статистичний аналіз та визначення натягу паперу ґрунтується на найкращій оцінці  $X$ , тобто  $x_{cp}$ , по результатах  $n$  вимірів та ширині очікує мого розподілення  $\sigma$ :

$$X = x_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}},$$

де  $x_i$  — значення кута відхилення у одиницях вимірювання АЦП;  $n$  — кількість вимірів.

Аналіз статистичного визначення натягу показує, чи задовольняє фактичне розподілення експериментальних вимірювань гіпотезі, що результати розподіленні у відповідності з законом Гаусса  $f_{x,\sigma}(X)$  для оцінених раніше  $X$  і  $\sigma$ . Для цього виконується розподіл усього інтервалу можливих значень вимірів на біни, з відповідними границями  $x_{cp} - \sigma$ ,  $x_{cp}$  і  $x_{cp} + \sigma$ , що обумовлює чотири біна, для яких вимірювання  $x_1, x_2, \dots, x_n$  розподіляються по бінах у наступуючих інтервалах:

1.  $x_i < x_{cp} - \sigma$  — ( $Q_1$ )
2.  $x_{cp} - \sigma < x_i < x_{cp}$  — ( $Q_2$ )
3.  $x_{cp} < x_i < x_{cp} + \sigma$  — ( $Q_3$ )
4.  $x_{cp} + \sigma < x_i$  — ( $Q_4$ ),

для яких  $Q_k$  це число результатів вимірів, які попадають у кожний.

Вірогідність того, що вимірювання попадуть у кожний з чотирьох бінів, дорівнює відповідним площам, які відображені під функцією Гаусса [4, 7, 9]. Імовірності  $P_2$  та  $P_3$  для бінів 2 та 3 роз-

поділенні таким чином, що ймовірність попадання у один з них дорівнює 34 %, а відповідно ймовірність  $P_1$  та  $P_4$  попадання у бін 1 та 4 дорівнює 16 %.

Передбачаючи, що результати вимірювань розподіленні нормально, можна обчислити теоретичне число вимірів  $E_k$  для кожного біна за виразом  $E_k = n \cdot P_k$  та порівняти з числом реальних вимірів  $Q_k$  у біні. При цьому, якщо різниця  $Q_k - E_k$  буде мала, то результати вимірів розподіленні нормально, а якщо різниця  $Q_k - E_k$  велика то гіпотеза невірна.

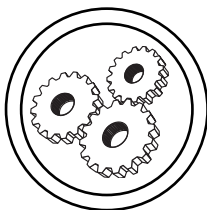
Для достовірного аналізу гіпотези згідно критерію  $\chi^2$  [5, 7] треба зрівнювати відхилення  $Q_k - E_k$  зі стандартним відхиленням  $\sqrt{E_k}$  на основі відношення:

$$\frac{Q_k - E_k}{\sqrt{E_k}}.$$

Для деяких бінів вказане відношення має позитивне значення, а для інших негативне, але його значення для більшості бінів коливається біля одиниці. Остаточний аналіз гіпотези потребує зведення відношення у квадрат для кожного  $k$  і знайти суму по всіх бінах, а потім порівняти до кількості бінів:

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(Q_k - E_k)^2}{E_k}.$$

Вимірювання розподіленні у відповідності з законом Гаусса  $f_{x,\sigma}(X)$  і  $x_{cp}$  є найкращою оцінкою натягу, якщо  $\chi^2 \leq k$ . У іншому випадку, якщо  $\chi^2 \gg k$ , то гіпотеза не погоджується з експериментальними вимірами, що є необхідністю визначати аномальність результатів вимірювання.



Для визначення аномальності використовується критерій Шовене [5, 7, 8], який добре узгоджується з розподіленням Гаусса та дозволяє виявляти елемент масиву вимірів, який найбільше відмінний від решти. Критерій базується на припущенні, що результати вимірювання узгоджуються з законом Гаусса з центром  $x_{cp}$  та шириною очікуємого розподілення. На основі середнього арифметичного  $x_{cp}$  та стандартного відхилення  $\sigma$  обчислюється стандартне відхилення  $\sigma_{під}$  для підозрюваного виміру  $x_{під}$ :

$$\sigma_{під} = \frac{x_{під} - x_{cp}}{\sigma}$$

Обчислення ймовірності того, що вимір  $x_{під}$  відрізняється від  $x_{cp}$  на  $\sigma_{під}$  або більше, виконується на основі інтегралу помилки:

$$P(y_{\text{границі } \sigma_{під}}) = \int_{x-t\sigma}^{x+t\sigma} F_{x,\sigma}(X) dX$$

який є таблично розрахований для ряду фіксованих значень  $\sigma$ , тобто функції  $P = f(\sigma)$  ймовірності  $P$  у процентах відносно стандартного відхилення [7, 8].

Для автоматизації обчислення ймовірності для любого значення  $\sigma$  від 0 до  $4\sigma$  на основі таблично заданої функції  $P = f(\sigma)$  автором розроблено декілька аналітичних залежностей з різною величиною достовірності апроксимації для об'єктивного обчислення значення  $P(y$  границі  $\sigma_{під})$ , на її основі визначення ймовірності  $P$  (за границею  $\sigma_{під})$ :

$P$ (за границею  $\sigma_{під}) = 1 - P(y$  границі  $\sigma_{під})$ .

Визначені аналітичні залежності для автоматичного обчислення значення ймовірності  $P(y$  границі  $\sigma_{під})$  мають наступний вигляд:

$P = -0,468\sigma^5 + 4,8374\sigma^4 - 14,529\sigma^3 - 3,557\sigma^2 + 81,915\sigma - 0,1228$  – величина достовірності апроксимації  $R = 1$  або

$P = 0,23274\sigma^4 + 1,2362\sigma^3 - 25,494\sigma^2 + 92,635\sigma - 0,9106$  ( $R = 0,9995$ ) та

$P = 0,030822\sigma^3 - 0,3007\sigma^2 + 0,96322\sigma - 0,014234$  ( $R = 0,9994$ ).

Згідно критерію Шовене обчислюється кількість очікуваних вимірів  $N$ , котрі дають такі ж погані результати, як і  $x_{під}$ :

$N = n * P$  (за границею  $\sigma_{під})$ ,

де  $n$  — кількість вимірів.

Якщо  $N < 0,5$ , то підозрілий вимір  $x_{під}$  не задовольняє критерію Шовене і його замінюють на  $x_{cp}$ , що забезпечує оптимізації часу та сприяє реалізації у реальному масштабі часу. На основі отриманого нового масиву обчислюється нове значення середнього арифметичного  $x_{cp}$  та очікуємого розподілення  $\sigma$ , на основі якого цикл аналізу може повторюватися згідно визначених умов.

Алгоритмічне забезпечення автоматизації статистичного визначення натягу наведено на рис. 1, а його реалізація при визначеному масиві вимірів  $x_i$   $x_{cp}$  у вигляді програмного модуля на проблемно-орієнтованій мові представлено на рис. 2.

Дослідження засобів автоматизації статистичного визначення натягу показують, що при кількості вимірів  $n = 16$  досто-

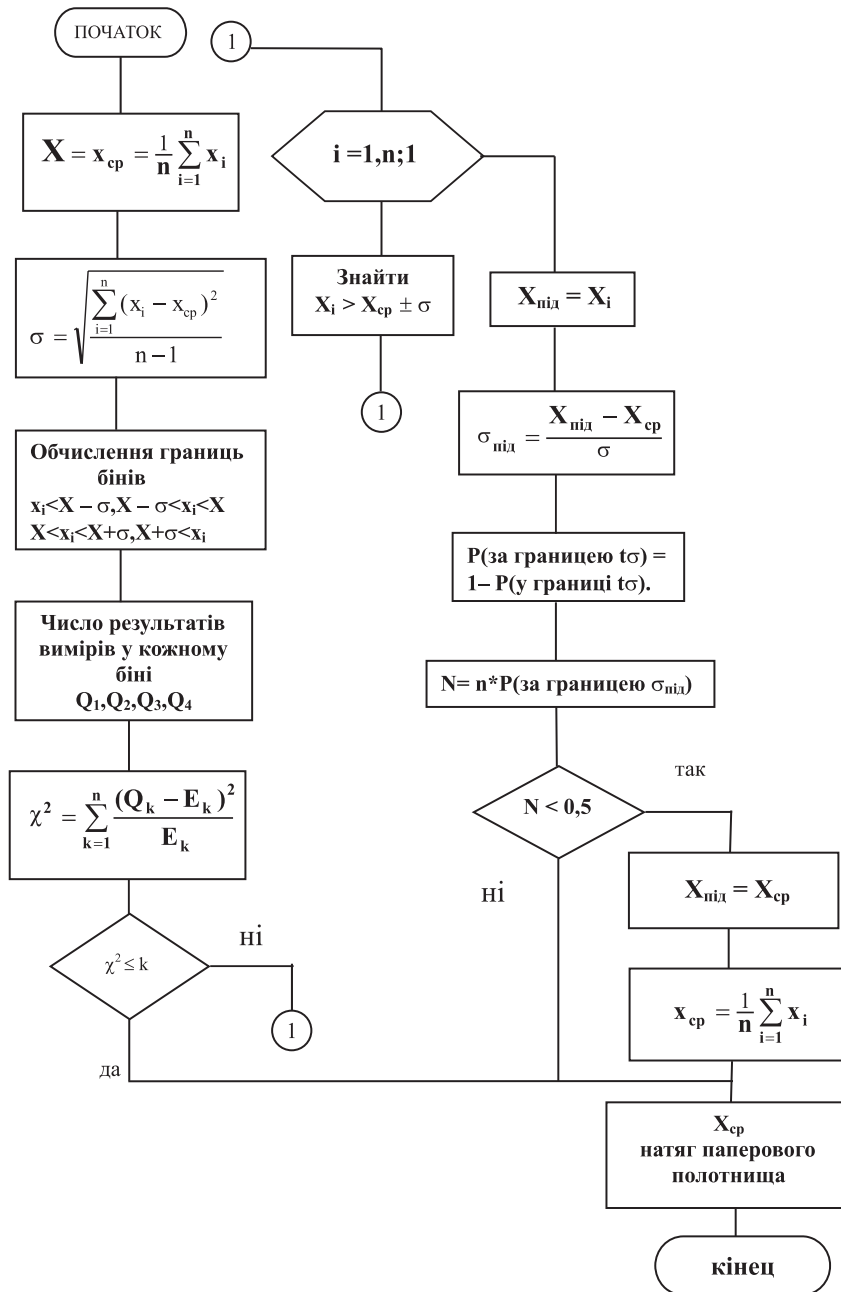
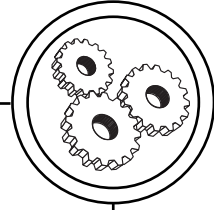
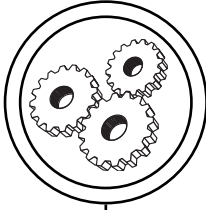


Рис 1. Алгоритмічне забезпечення автоматизація процесів статистичного визначення натягу полотна паперу

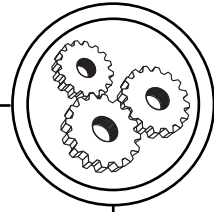


## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

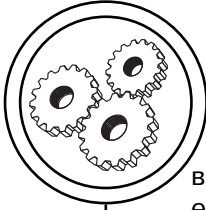
МОДУЛЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ СТАТИСТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ  
НАЧ "ВИЗНАЧЕННЯ ХСР ТА SIG";

```
ПРИ L=1;
10 ПРИ I=1;
ПРИ S=0;
1 ПРИ S=S+X(I);
ПРИ I=I+1;
ЕСЛ (I<=N) ПЕР 1;
ПРИ ХСР=S/N;
ПРИ I=1;
ПРИ SI=0;
2 ПРИ XI=X(I);
ПРИ SI=SI+(XI-ХСР)^2;
ПРИ I=I+1;
ЕСЛ (I<=N) ПЕР 2;
ПРИ N1=N-1;
ПРИ SIG1=SI/N1;
ПРИ GN=SIG1;
ПРИ G=0;
91 ПРИ G=G+0.1;
ПРИ G1=G*G;
ЕСЛ (G1>GN) ПЕР 90;
ПЕР 91;
90 ПРИ SIG=G;
ВЫВ ХСР,SIG;
ПРИ G1=ХСР-SIG;
ПРИ G2=ХСР+SIG;
ВЫВ G1,G2;
ВЫВ "ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЯ X^2";
ПРИ Q(1)=0;
ПРИ Q(2)=0;
ПРИ Q(3)=0;
ПРИ Q(4)=0;
ПРИ P(1)=0.16;
ПРИ P(2)=0.34;
ПРИ P(3)=0.34;
ПРИ P(4)=0.16;
ПРИ I=1;
4 ЕСЛ (X(I)<=G1) ПЕР 16;
ЕСЛ (X(I)<=ХСР) ПЕР 17;
ЕСЛ (X(I)<=G2) ПЕР 18;
ПЕР 19;
16 ПРИ Q(1)=Q(1)+1;
ПЕР 20;
17 ПРИ Q(2)=Q(2)+1;
ПЕР 20;
18 ПРИ Q(3)=Q(3)+1;
ПЕР 20;
19 ПРИ Q(4)=Q(4)+1;
20 ПРИ I=I+1;
ЕСЛ (I<=N) ПЕР 4;
```

Рис 2. Проблемно-орієнтована програма



Выв Q(1),Q(2),Q(3),Q(4);  
 ПРИ K=1;  
 ПРИ SIK=0;  
 15 ПРИ E(K)=N\*P(K);  
 ПРИ SIK=SIK+(Q(K)-E(K))^2/E(K);  
 ПРИ K=K+1;  
 ЕСЛ (K<=4) ПЕР 15;  
 Выв SIK;  
 Выв "АНАЛІЗ SIK < = 4";  
 Выв "ПЕРЕХІД ДО АНАЛІЗУ КРИТЕРІЯ X^2";  
 ЕСЛ (SIK<=4) ПЕР 9;  
 Выв "ВИМІРЮВАННЯ НЕ РОЗПОДІЛЕНІ НОРМАЛЬНО";  
 ПРИ I=1;  
 ПРИ XI=X(I);  
 ПРИ RA=XI-XCP;  
 ЕСЛ (RA>=0) ПЕР 50;  
 ПРИ RA=-RA;  
 50 ПРИ X1=RA;  
 ПРИ J=I;  
 ПРИ SUS=X(J);  
 ПРИ I=2;  
 6 ПРИ XI=X(I);  
 ПРИ RA=XI-XCP;  
 ЕСЛ (RA>=0) ПЕР 60;  
 ПРИ RA=-RA;  
 60 ЕСЛ (RA>X1) ПЕР 5;  
 ПЕР 14;  
 5 ПРИ J=I;  
 ПРИ X1=RA;  
 ПРИ SUS=X(J);  
 14 ПРИ I=I+1;  
 ЕСЛ (I<=N) ПЕР 6;  
 ПРИ SA=SUS-XCP;  
 ЕСЛ (SA>=0) ПЕР 70;  
 ПРИ SA=-SA;  
 70 ПРИ T=SA/SIG;  
 ПРИ P1=-0,468 \*T^5+4,8374\*T^4;  
 ПРИ P2=-14,529\*T^3-3,557\*T^2+81,915\*T-0,1228;  
 ПРИ P=P1+P2;  
 ЕСЛ (P<1) ПЕР 80;  
 ПРИ P=0.9999;  
 80 ПРИ T1=(1-P)\*N;  
 ЕСЛ (T1<0,5) ПЕР 8;  
 ПРИ I=1;  
 8 ПРИ X(J)=XCP;  
 ПРИ L=L+1;  
 ЕСЛ (L<=5) ПЕР 10;  
 ПАУ "ПРИЙМАЙТЕ РІШЕННЯ - Є ПОМИЛКА ??????";  
 ПЕР 24;  
 9 Выв "ВИМІРЮВАННЯ РОЗПОДІЛЕНІ НОРМАЛЬНО !!!!!";  
 24 КОН "ПРОЦЕС ОБРОБКИ ЗАКІНЧЕНО";



вірність результатів не суперечать статистичній гіпотезі визначення натягу та забезпечує оптимальні часові показники. Час статистичного визначення натягу полотна по результатам 16-и вимірів натягу дорівнює 3,5—3,6 мс, що менше часу  $t_{\text{макс}} = 4,2$  мс для чотирьох секцій друку при реалізації обробки результатів вимірювання на основі мови FORTRAN-77 для проблемно-орієнтованої мови.

### Висновки

1. Автоматизація статистичного визначення натягу полотна на основі розробленої аналітичної залежності обчислення ймо-

вірності по інтегралу помилки, з визначеною величиною достовірності апроксимації, дозволяє оптимізувати процеси об'єктивного обчислення натягу полотна у рулонних друкарських машинах та забезпечує виконання процесів стабілізації натягу у реальному масштабі часу.

2. Застосування машино-залежної мови програмування для побудови засобів проблемної орієнтації надають можливість значно зменшити час на визначення натягу полотна статистичним методом та підвищити достовірність вимірювання технологічних параметрів.

1. Дурняк Б. В. Стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин. — К.: Атіка, 2002. — 292 с. 2. Казакевич В. В., Избицкий Э. И. Системы автоматического управления полиграфическими процессами. — М.: Книга, 1978. — 341 с. 3. Ефимов М. В., Толстой Г. Д. Автоматизация технологических процессов полиграфии. — М.: Книга, 1989. — 512 с. 4. Луцків М. М. Системи автоматичного керування ротаційними машинами з пружними зв'язками. — К.: 1991. — 71 с. 5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Физ.-матем. литературы, 1958. — 464 с. 6. Морфлюк В. Ф. Автоматизація процесів контролю технологічних параметрів поліграфічного устаткування // Друкарство. — 2001. — № 1. — С. 34—35. 7. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 272 с. 8. Иванова В. М., Калинина В. Н., Нешумова Л. А., Решетникова И. О. Математическая статистика. — М.: Высш. школа, 1975. — 398 с. 9. Морфлюк В. Ф. Статистичне оцінювання та визначення натягу паперового полотна у рулонних друкарських машин // Друкарство. — 2003. — № 3(50). — С. 62—64.

Рецензент — А. К. Дорош, професор, д.х.н., заслужений діяч науки і техніки України, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 21.02.08