

7. Разумев К.Э. Проектирование свойств чистошерстяной камвольной пряжи с целью повышения ее качества и снижения обрывности в прядении. Автореф. канд. дис. – М., МТИ, 1984. – 164 с.
8. Скуланова Н.С. Влияние изменения свойств шерсти в технологических процессах на уровень обрывности в аппаратном прядении. Автореф.канд. дис. – М., МТИ, 1977. – 217 с.
9. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
10. Слізков А.М., Щербань В.Ю., Краснитський С.М. Застосування принципів ідентифікації в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів// Вісник КНУТД, 2008, №4.

Надійшла 26.12.2008

УДК 685.3

## **АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ЩІЛЬНОГО СУМІЩЕННЯ ОДНОЙМЕННИХ ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ**

В.І. ЧУПРИНКА, О.О. ХОМЕНКО, Л.Т. СВІСТУНОВА

Київський національний університет технологій та дизайну

*У роботі запропоновано алгоритм побудови щільного системного розміщення однойменних деталей будь-якої складної конфігурації в розкладці на матеріалі прямокутної форми. Алгоритм реалізовано у програмний додаток в інтегрованому середовищі програмування Delphi для операційної системи Windows*

Відомо, що побудова розкрійних схем, які б відповідали галузевим нормам використання рулонних матеріалів, має велику трудомісткість. Питання раціонального використання матеріалів особливо гостро стоїть у взуттєвій промисловості, оскільки їх вартість у собівартості взуття досягає 70%. Потреба постійного підвищення ефективності виробництва та підтримання конкурентоспроможності вітчизняних товарів на ринку, особливо в умовах важкого економічного становища держави, зумовлює створення методів і автоматизації самого процесу проектування оптимальних схем розкрою матеріалів з метою отримання якісних недорогих товарів у стислі часові терміни. Скорочення часу на розробку таких розкрійних схем можна досягти удосконаленням програмного забезпечення для автоматизації цього процесу. Удосконалення програмного забезпечення може бути спрямовано на створення більш ефективних розкрійних схем, підвищення швидкодії, зниження собівартості програмного забезпечення порівняно з відомими аналогами. Результати роботи створеного програмного продукту будуть вхідними даними для керування автоматизованими розкрійними комплексами.

### **Об'єкти та методи дослідження**

Метою роботи є аналіз існуючих методів визначення щільного суміщення деталей складної геометричної конфігурації при їх системному розміщенні на матеріалах прямокутної форми й створення на їх основі алгоритму для побудови щільного суміщення деталей виробів взуттєвої промисловості.

Об'єктами дослідження є щільні розкладки однойменних взуттєвих деталей складної конфігурації. Розкладка – це решітчасте розміщення однойменних деталей на матеріалі довжиною

$DL_1 \leq DL_{стала}$  і шириною  $SH_1 \leq SH_{матеріалу}$ , яке не перевищує потребу в деталях цього виду. Із розкладок генеруються секції набором не більше трьох за шириною матеріалу. Основні вимоги до технології розкрою викладено у праці [1]. Методами дослідження є методи аналітичної геометрії, обчислювальної математики та автоматизації технологічної підготовки взуттєвого виробництва.

### **Постановка завдання**

Вихідними даними є інформація про зовнішній контур деталей взуттєвої промисловості, далі – деталей. Необхідно розробити алгоритми та програмне забезпечення для побудови щільного системного суміщення однойменних деталей у розкладці на матеріалі прямокутної форми за умов мінімізації відходів.

### **Результати та їх обговорення**

Важливим завданням при пошуку раціональної схеми розкрою матеріалу є автоматизація процесу визначення найщільнішого взаємного розташування деталей на матеріалі прямокутної форми. Основним етапом вирішення цього завдання є знаходження раціонального способу суміщення деталей між собою. Цьому питанню присвячено багато наукових праць. Зокрема, один із варіантів вирішення цього завдання, запропоновано в роботі [2,3], де передбачається визначення вручну величин можливого одноразового зсуву деталей з метою їх зближення за шириною та довжиною матеріалу (другої деталі до першої) та багаторазового зсуву (третьої до другої), причому деталі до визначення величин зсуву дотикалися описаними навколо них прямокутниками. Ці дані потім вводилися в ЕОМ у вигляді лінійних параметрів. Значно вдосконалено і автоматизовано цей спосіб визначення взаємного розташування деталей у праці [4]. Він базується на визначенні лінійних ефектів від суміщення деталей у рядках та стовпчиках, де умовно позначено: рядок – це розміщення деталей за довжиною матеріалу (в горизонтальному напрямку), стовпчик – це розміщення деталей за шириною матеріалу (у вертикальному напрямку). Цей спосіб може успішно застосовуватися для розміщення деталей шкіргалантереї, які переважно мають просту конфігурацію.

Деталі взуттєвої промисловості, як правило, мають складну геометричну конфігурацію. При визначенні їх щільного суміщення в розкладці за допомогою алгоритму пошуку лінійних ефектів [4] виявилось, що в деяких випадках суміщення деталей виконується з помилками. Приклад помилки наведено на рис. 1, де сірим кольором виділено місця перетину деталей, що є неприпустимим, оскільки суперечить основним вимогам до технології розкрою, викладеним у праці [1], а саме вимозі не перетину деталей між собою.

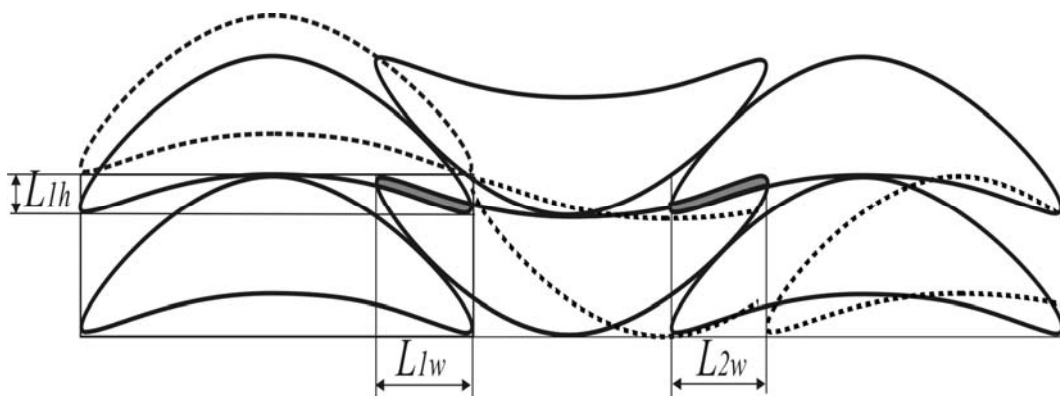


Рис. 1. Приклад неправильної роботи алгоритму суміщення деталей за допомогою лінійних ефектів

На основі результатів досліджень [4] розроблено вдосконалений алгоритм, що забезпечує коректну роботу з деталями складної конфігурації та дозволяє досягати щільного розміщення однойменних деталей в розкладці.

**Алгоритм** працює таким чином:

1. Відсортувати деталі по довжині за ознакою її зменшення і при створенні розкладки з першого виду деталей вкласти деталь найбільшої довжини в лівий нижній кут.

2. Визначити два лінійні ефекти від суміщення деталей у рядку (з поворотом деталей на  $180^\circ$  і без)  $L_{1w}$  та  $L_{2w}$  та два лінійні ефекти від суміщення деталей у стовпчику (з поворотом деталей на  $180^\circ$  і без)  $L_{1h}$  та  $L_{2h}$  (див. рис. 1). Визначення лінійних ефектів  $L_{1w}$ ,  $L_{2w}$ ,  $L_{1h}$  та  $L_{2h}$  детально розглянуто в роботі [4].

3. Визначити розміщення першої деталі в рядку – основному чи з поворотом на  $180^\circ$ . Правильний вибір дозволить зменшити можливі крайові відходи матеріалу, які зображено сірим кольором на рис. 2.

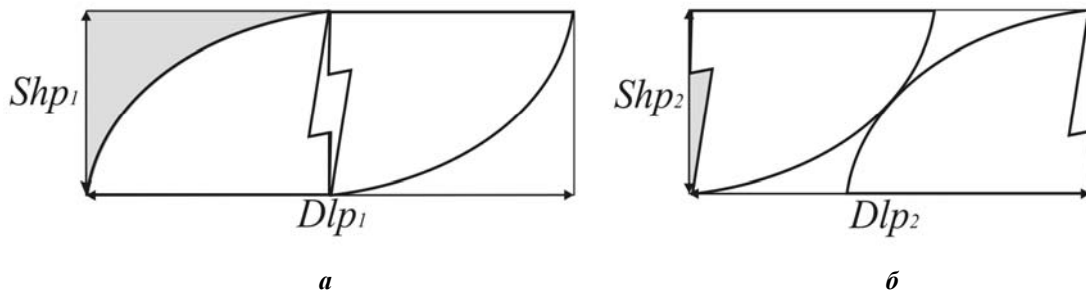


Рис. 2. Величина краєвих відходів при орієнтації першої деталі в рядку в основному положенні (а) і з поворотом (б)

Для визначення розміщення деталі необхідно щільно сумістити неповернуту деталь з повернутою на величину лінійного ефекту  $L_{1w}$  та повернуту деталь з неповернутою на величину  $L_{2w}$ . Далі слід описати навколо першої пари деталей прямокутник  $P_1$ , навколо другої пари – прямокутник  $P_2$  і визначити площу  $Sp_1$  прямокутника  $P_1$  та площу  $Sp_2$  прямокутника  $P_2$ . Виконати порівняння співвідношень (1):

$$\frac{2 \times Sd}{Sp_1} \text{ та } \frac{2 \times Sd}{Sp_2}, \quad (1)$$

де площа деталі  $Sd$  визначається із співвідношення (2) для визначення площі опукло-ввігнутого багатокутника заданого координатами вершин, тобто масивом  $\{X_i, Y_i\}$ ,  $i = 1 \dots n$ , де  $X_i, Y_i$  – координати  $i$ -ї вершини,  $n$  – кількість вершин апроксимуючого багатокутника [5, 6].

$$Sd = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{n-1} (X_i Y_{i+1} - X_{i+1} Y_i) \right| \quad (2)$$

Слід вибрати ту орієнтацію першої деталі, яка відповідає більшому значенню співвідношення (1). Якщо величина першого співвідношення більша, першою розташовується деталь без повороту у

протилежному разі, інакше – з поворотом. Очевидно, що перша деталь в прикладі раціональніше розташована на рис. 2, б, тобто вона повинна бути повернута на  $180^\circ$ .

4. Визначити величини зсуву рядків та стовпчиків деталей залежно від умов 4.1– 4.3.

4.1. Якщо  $L_{1w} \neq 0$  і  $L_{2w} \neq 0$  та  $L_{2h} = 0$ , тоді слід визначити  $L_{3h}$  – лінійний ефект від суміщення рядків деталей ( $L_{3h}$  може дорівнювати  $L_{1h}$  в частковому випадку). Отже, отримано два лінійні ефекти  $L_{1w}$  і  $L_{2w}$  від суміщення деталей у рядку та один  $L_{3h}$  від суміщення рядків деталей.

4.2. Якщо  $L_{1h} \neq 0$  і  $L_{2h} \neq 0$  та  $L_{2w} = 0$ , тоді слід визначити  $L_{3w}$  – лінійний ефект від суміщення стовпчиків деталей ( $L_{3w}$  може бути рівним  $L_{1w}$  в частковому випадку). Отже, отримано один лінійний ефект від суміщення стовпчиків деталей  $L_{3w}$  та два лінійні ефекти від суміщення деталей у стовпчику  $L_{1h}$  і  $L_{2h}$ .

4.3. Якщо  $L_{1w} \neq 0$  і  $L_{2w} \neq 0$  та  $L_{1h} \neq 0$  і  $L_{2h} \neq 0$ , тоді необхідно порівняти сумарні лінійні ефекти від суміщення деталей у рядку  $SumL_w = L_{1w} + L_{2w}$  та у стовпчику  $SumL_h = L_{1h} + L_{2h}$ . Якщо  $SumL_w > SumL_h$ , тоді отримано результат як у випадку 4.1, інакше – як у випадку 4.2.

Величини зсуву, отримані у пункті 4, дозволяють однозначно побудувати щільне суміщення рядків та стовпчиків однойменних деталей. Процедура визначення лінійних ефектів  $L_{3h}$  та  $L_{3w}$  детально описана далі.

Підготовка вихідних даних для визначення лінійних ефектів  $L_{3h}$  від зсуву рядків та  $L_{3w}$  від зсуву стовпчиків у розкладці полягає у такому. Для представлення контурів деталей застосовано спосіб кусково-лінійної апроксимації. Тоді координати вершин апроксимуючого опукло-ввігнутого багатокутника для  $i$ -ї деталі будуть представлені масивом  $\{X_{ij}, Y_{ij}\}$ , де  $i = 1, \dots, n$ ,  $n$  – кількість деталей,  $j = 1, \dots, k_i$ . та  $k_i$  – кількість вершин апроксимуючого багатокутника для  $i$ -ї деталі. Граничні значення координат вершин апроксимуючого опукло ввігнутого багатокутника визначаються із співвідношення (3):

$$\begin{aligned} X \max_i &= \max\{X_{ij}\}, & Nx \max_i &= j \\ Y \max_i &= \max\{Y_{ij}\}, & Ny \max_i &= j \\ X \min_i &= \min\{X_{ij}\}, & Nx \min_i &= j \\ Y \min_i &= \min\{Y_{ij}\}, & Ny \min_i &= j \end{aligned} \quad (3)$$

де  $Nx \max_i$ ,  $Ny \max_i$ ,  $Nx \min_i$ ,  $Ny \min_i$  – номери вершин з максимальними та мінімальними значеннями абсцис та ординат апроксимуючого багатокутника, де  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, k_i$ .

Перетворення координат багатокутників виконуються за формулами (4) таким чином, щоб центр описаного навколо деталі прямокутника перемістився у початок координат  $\{0,0\}$ :

$$\begin{aligned} X_{ij} &= X_{ij} - \frac{1}{2}(X \max_i + X \min_i) \\ Y_{ij} &= Y_{ij} - \frac{1}{2}(Y \max_i + Y \min_i) \end{aligned} \quad (4)$$

де  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, k_i$

Для зручності виконання наступних перетворень необхідно встановити єдиний напрямок обходу деталей. Нехай вибрано напрямок проти годинникової стрілки. Тоді обхід деталей, координати вершин яких задовольняють нерівності (5), необхідно змінити на обхід проти годинникової стрілки і відповідно до цього перерахувати координати вершин так, щоб першою була вершина з номером, що дорівнює рівним нулю ( $Nx \min_i = 0$ ):

$$Nx \min_i \leq Ny \max_i \leq Nx \max_i \leq Ny \min_i . \quad (5)$$

**Процедура визначення лінійного ефекту  $L_{3h}$  від зсуву рядків у розкладці** містить такі кроки:

1. Виконати щільне суміщення у рядку другої деталі до першої на величину  $L_{1w}$  та третьої до другої на  $L_{2w}$ .

2. Знайти верхню межу трьох суміщених деталей шляхом об'єднання частин їх контурів  $KVd_1, KVd_2, KVd_1$ , номери координат кожного з яких задовольняють нерівності (6) у повернутих деталях і нерівності (7) у повернутих:

$$Nx \max_i \leq Nx_{ij} \quad (6)$$

$$Nx \min_i \leq Nx_{ij} \leq Nx \max_i \quad (7)$$

Об'єднана загальна верхня межа вважається однією деталлю  $G_V = KVd_1 \cup KVd_2 \cup KVd_1$  (рис.3).

3. Зсунути три суміщені деталі вздовж осі  $OY$  на висоту  $Shd = Y \max_i - Y \min_i$  деталі і.

4. Знайти нижню межу трьох суміщених деталей шляхом об'єднання частин їх контурів  $KNd_1, KNd_2, KNd_1$ , номери координат кожного з яких задовольняють нерівності (7) у повернутих деталях та нерівності (6) у повернутих. Об'єднана загальна нижня межа вважається однією деталлю  $G_N = KNd_1 \cup KNd_2 \cup KNd_1$  (рис. 3).

5. Знайти лінійний ефект  $L_{3h}$  від суміщення меж  $G_V$  та  $G_N$ . Для цього слід побудувати відрізки  $l_i \parallel OY$  ( $i = 1, \dots, kv$ , де  $kv$  – кількість вершин  $G_V$ ) з кожної вершини  $G_V$  до перетину з  $G_N$  і прямі  $m_j \parallel OY$  ( $j = 1, \dots, kn$ , де  $kn$  – кількість вершин  $G_N$ ) з кожної вершини  $G_N$  до перетину з  $G_V$ . Лінійний ефект  $L_{3h} = \min(l_i, m_j)$ .

На рис. 3 суцільною лінією зображено рядки деталей, що дотикаються описаними довкола них прямокутниками, а пунктирною лінією – деталі, які щільно суміщені на величину лінійного ефекту  $L_{3h}$ . Жирною лінією виділено об'єднані загальну верхню  $G_V$  та нижню межі  $G_N$  з трьох суміщених однойменних деталей.

Аналогічно до наведеної процедури визначається і лінійний ефект  $L_{3w}$  від суміщення стовпчиків у розкладці, з тією лише різницею, що шукається відстань між лівою і правою межами трьох суміщених деталей у стовпчиках.

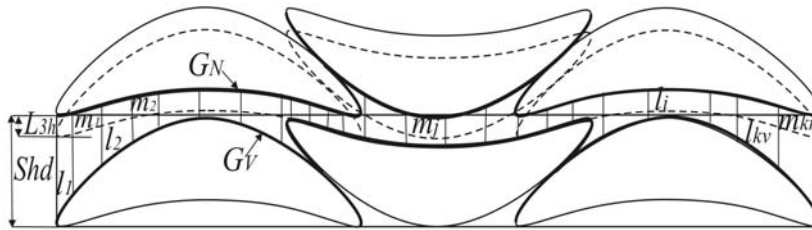


Рис. 3. Визначення лінійного ефекту  $L_{3h}$  від суміщення рядків деталей у розкладці

Описаний алгоритм реалізовано у програмний продукт, побудований на модульній системі з представленням сутностей у вигляді об'єктів. Усі методи викликаються в головному модулі, що дозволяє в подальшому легко нарощувати можливості програми. Програма написана мовою програмування Object Pascal в середовищі Delphi для операційної системи Windows. Програмний продукт має дружній інтерфейс і не потребує спеціальних знань з комп'ютерної техніки при роботі з ним. Результати роботи створеного програмного продукту можуть бути вхідними даними для керування автоматизованими розкрійними комплексами.

#### **Висновки**

Розроблено алгоритм, який отримувати щільне системне розміщення однойменних деталей складної геометричної конфігурації в розкладці на матеріалі прямокутної форми, і відповідає технологічним вимогам виробництва. Алгоритм базується на визначенні лінійних ефектів від суміщення деталей у рядках та стовпчиках. Нововведенням в алгоритм є визначення лінійних ефектів від суміщення стовпчиків та рядків однойменних деталей, що забезпечує коректне щільне суміщення деталей будь-якої складної конфігурації. Тобто цей алгоритм може бути застосований як для щільного суміщення деталей взуття, так і для суміщення деталей шкіргалантерейних виробів. Очікується, що подальші дослідження в цьому напрямі дадуть можливість удосконалити програмне забезпечення і завдяки цьому проектувати більш раціональні розкрійні схеми матеріалів.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Зыбин Ю. П. и др. Технология изделий из кожи.– М.: Легкая индустрия, 1975.– 464 с.
2. Яковлева О.В. Разработка модели прямоугольного раскроя рулонных материалов в обувной промышленности с применением математических методов и ЭВМ: Автореф. канд. дис. – М.: МТИЛП, 1987. – 24с.
3. Яковлева О.В., Замарашкин Н.В. Расчет относительной ошибки измерения параметров совмещения шаблонов. – М.: Легкая индустрия, 1983. – 54 с.
4. Чупринка В.І., Колиско О.З. Алгоритм підготовки інформації для побудови розкрійних схем рулонних матеріалів на деталі взуття та шкіргалантерейних виробів. – К.: Вісник КНУТД. – 2005, №2.– с.60–64.
5. Чупринка В.І., Пінчук А.В. Серійне градирування деталей взуття з урахуванням сталості технологічних припусків // Вісник технологічного університету Поділля.– 2002, №4.– с.32–36.
6. Чупринка В.І., Волошин О.Т., Піпа Т.А. Підготовка інформації для автоматичного розкрою. – К.: Вісник ДАЛПУ.– 2000, №1. – с.91–93.

Надійшла 12.02.2009