

УДК 685.34.01

ЧУПРИНКА В.І., ЗЕЛІНСЬКИЙ Г.Ю., ЧУПРИНКА Н.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМ РОЗКРОЮ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ДЕТАЛІ НИЗУ ВЗУТТЯ

Мета. Розробити метод автоматизованого проектування раціональних схем цільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області заданих розмірів.

Методика. Використані методи аналітичної геометрії та прикладної математики для проектування та коригування раціональних схем цільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області.

Результати. В роботі був запропонований метод автоматизованого проектування раціональних схем цільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області заданих розмірів.

Наукова новизна. Запропоновано метод автоматизованого проектування раціональних схем цільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області заданих розмірів, який більш ефективний за існуючі.

Практична значимість. Результати теоретичних досліджень були реалізовані в програмний модуль для автоматизованого проектування раціональних схем цільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області заданих розмірів.

Ключові слова: цільне розміщення, структурні компоненти, функція цілі, секція, схема розкрою, план розкрою, програмне забезпечення.

Вступ. Автоматизоване проектування раціональних розкрійних схем матеріалів дозволить ефективно використовувати матеріали при розкрої, зменшити кількість відходів, що забруднюють навколишнє середовище, знизити собівартість виробів. Тому завдання автоматичного проектування раціональних схем цільного розміщення плоских геометричних об'єктів з різною конфігурацією зовнішніх контурів для прямокутної області Ω заданих розмірів є актуальним завданням.

Постановка завдання. В більшості випадків процес підготовки раціональних схем розкрою листових матеріалів на деталі взуття виконуються вручну. Але розвиток обчислювальної техніки та методів обчислювальної математики дозволяють виконувати ці етапи в автоматичному режимі. Завданням цієї роботи є розробка методу автоматизованого проектування раціональних схем розкрою листових матеріалів на деталі взуття.

Результати досліджень. Для розв'язання цієї задачі необхідно математична постановка задачі, в якій сформулювати технологічні вимоги та обмеження.

Математична постановка задачі. Дано прямокутні області Ω необмеженої кількості з габаритами Dl_{mat} та H_{mat} . Необхідно щільно розмістити N_j плоских геометричних об'єктів S_j , де $j=1,2,..,q$, таким чином, щоб сумарна площа використаних прямокутних областей Ω була б мінімальною. При цьому задовольнялись наступні обмеження:

- кількість різних плоских геометричних об'єктів у схемі розкрою для одної прямокутної області Ω не повинна перевищувати шести;
- плоскі геометричні об'єкти у схемі розкрою повинні не перетинатись та розміщатись на відстані один від одного не менше сталої величини Δ ;
- плоскі геометричні об'єкти у схемі розкрою повинні не виходити за межі прямокутної області Ω на величину Δ ;

– вимоги до орієнтації плоских геометричних об'єктів відносно матеріалу (плоских геометричних об'єктів на матеріалі розміщуються в основному положенні та повернуті відносно основного положення на 180 градусів; не має обмежень на орієнтацію деталей на матеріалі.);

– кількість плоских геометричних об'єктів кожного виду, що розміщені в прямокутних областях Ω , повинна задовольняти потреби в цих об'єктах.

В такій постановці задача автоматичного проектування не має розв'язків, так як ця задача має нескінченну кількість локальних екстремумів. Тому розглянемо більш просту модель задачі, яка забезпечить ефективний пошук раціональних схем розміщення плоских геометричних об'єктів із врахуванням комплектного виходу. Для цього розіб'ємо цю задачу на три підзадачі: генерування множини допустимих секцій; генерування множини допустимих схем розкрою із комбінації згенерованих секцій; вибір із множини допустимих схем розкрою тих, які забезпечать мінімальну сумарну площу використаних прямокутних областей Ω для побудови схем розміщення плоских геометричних об'єктів S_j ($j=1,2,..q$) та задовольняють потребу в цих об'єктах.

Секція Q_{jm} з плоского геометричного об'єкту S_j – це прямокутна область довжиною Dl_{mat} та висотою $H_{jm}(0 < H_{jm} \leq H_{mat})$, в якій системно розміщуються плоскі геометричні об'єкти S_j (рис.1.).

За систему розміщення у секції приймемо прямокутну подвійну решітку $W: na+mb+kq$ в якій вектори a та b паралельні осям координат прямокутної системи координат XOY , яка пов'язана із розкладкою та початок координат якої знаходиться у лівому нижньому куті розкладки.

Схема розкрою складається із секцій(рис.1.б).. Комбінація секцій в схемі виконується тільки по висоті прямокутної області Ω та із секцій різних деталей. В схемі може бути не більше трьох секцій. (рис.1.б).

Тепер можна дати математичні постановки виділених підзадач. Для цього спочатку визначимо поняття подвійної решітки. Множину векторів виду [1-2]:

$$r_1=na+mb \text{ та } r_2=na+mb+q, \text{ де } n,m=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \pm k \dots,$$

де a, b - лінійно-незалежні вектори, назвемо подвійною решіткою з базисом a, b і вектором зсуву решітки q та позначимо через $W=W(a, b, q)$.

Підзадача «Секція». Для плоского геометричного об'єкту S_j , де $j=1,2,..q$, знайти прямокутну подвійну решітку $W^{pj}: na^{pj} + mb^{pj} + kq^j$ (рис.1.а) з найщільнішою укладкою деталей S_j . На базі цієї решітки спроектувати всю допустиму множину секцій Q_{jm} , $m=1,2,..m_k$ із висотою $H_{jm} \leq H_{mat}$ та довжиною Dl_{max} , щільність яких $P_{jm} \geq P$, а P - наперед задана щільність.

В математичній моделі цієї задачі можна виділити наступні структурні компоненти.

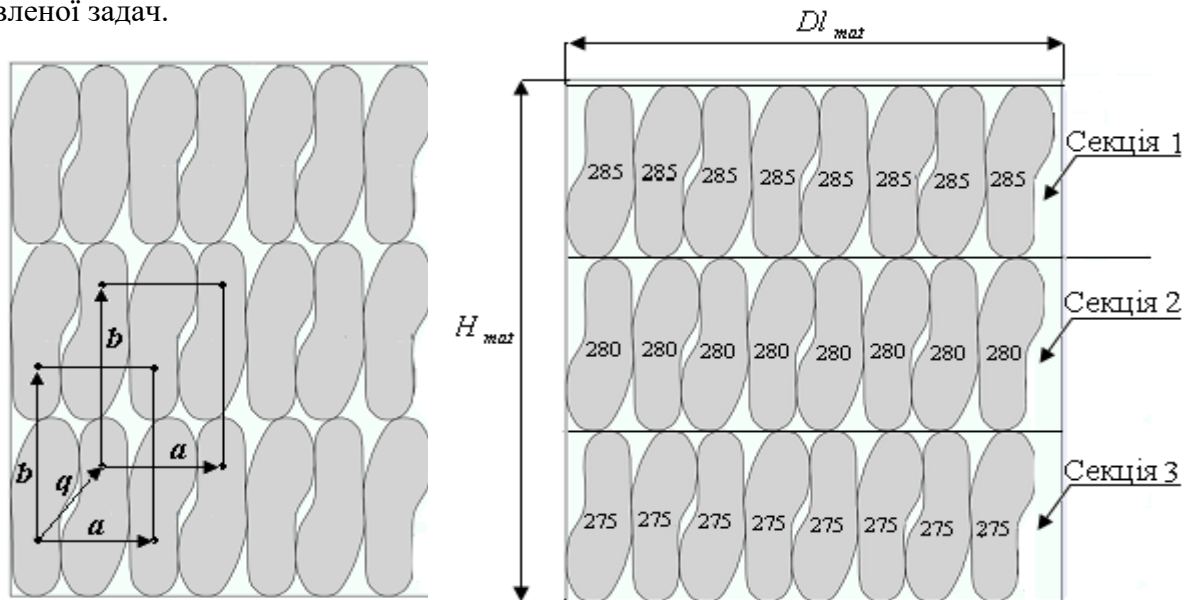
- Аналітичне описання матеріалу прямокутної форми;
- Аналітичне описання геометрії плоских геометричних об'єктів S^j , де $j=1,2,..q$, що розміщуються в прямокутній області Ω .

- Аналітичне представлення положення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області.

- Математичне описання системи розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області.

- Отримання аналітичного виразу для функції цілі.

Нижче детально розглянуто теоретичні основи, на яких розроблено ММ поставленої задачі.



а) Секція

б) Схема розкрою

Рис. 1. Секція та схема розкрою

Аналітичне описання матеріалу прямокутної форми. Матеріал прямокутної форми однозначно можна представити системою наступних нерівностей (рис. 1):

$$\Omega: \begin{cases} 0 \leq X \leq D_{l_{mat}} \\ 0 \leq Y \leq H_{mat} \end{cases}$$

Аналітичне представлення інформації про контур деталі S. Контури деталей взуття мають складну конфігурацію і в більшості випадків їх не вдається описати аналітично, тому їх апроксимують більш простими кривими. Найбільше розповсюдження одержала *кусково-лінійна* апроксимація, тобто апроксимація кривими першого порядку (прямими). При цій апроксимації контур деталі представляється багатокутником. Кількість вершин апроксимуючого багатокутника повинна забезпечувати потрібну точність апроксимації. Тоді деталь S можна представити координатами точок вершин апроксимуючого багатокутника, тобто масивом $\{X_i, Y_i\}$, $i=1..n$, де X_i, Y_i - координати i -ї вершини та n -кількість вершин апроксимуючого багатокутника.

Таке представлення надає можливість дати аналітичне описання контурів розміщуваних фігур у вигляді систем рівнянь відрізків, з яких складаються ці контури. В параметричній формі запису ця система має вигляд [3].

$$\begin{cases} X(t_i) = X_i + (X_{i+1} - X_i)t_i \\ Y(t_i) = Y_i + (Y_{i+1} - Y_i)t_i \end{cases} \quad i = \overline{1, n} \quad (1)$$

де $(X_i; Y_i)$ точки на контурі деталі, вибрані при апроксимації, або вершини многокутника, t_i - параметр, $t_i \in [0; 1)$.

Досвід свідчить, що для практичних задач достатньо забезпечити точність апроксимації контуру 0.5мм. Іншими словами, максимальне відхилення контуру деталі від ланки апроксимуючої лінії не повинно перевищувати 0.5мм. Виберемо на площині координатну систему XOY .

В подальшому будемо визначати координати вершин апроксимуючого многокутника для плоского геометричного об'єкту відносно фіксованої точки в середині цього об'єкту. Цю точку назвемо полюсом плоского геометричного об'єкту.

Аналітичне представлення положення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області. Для однозначного відображення положення плоского геометричного об'єкту S в прямокутній області Ω необхідно знати координати полюсу $P_{ij}(Xp_{ij}, Yp_{ij})$ плоского геометричного об'єкту S^q (точки, що знаходиться на плоскому геометричному об'єкті S^q та відносно якої задаються координати вершин апроксимуючого многокутника $A_k^q(Xs_k^q, Ys_k^q)$, $k = 1, 2, \dots, n_q$ для цього плоского геометричного об'єкту) в системі координат XOY , що пов'язана із прямокутною областю Ω , та кут повороту θ_{ij} плоского геометричного об'єкту відносно його вихідного положення (рис. 2).

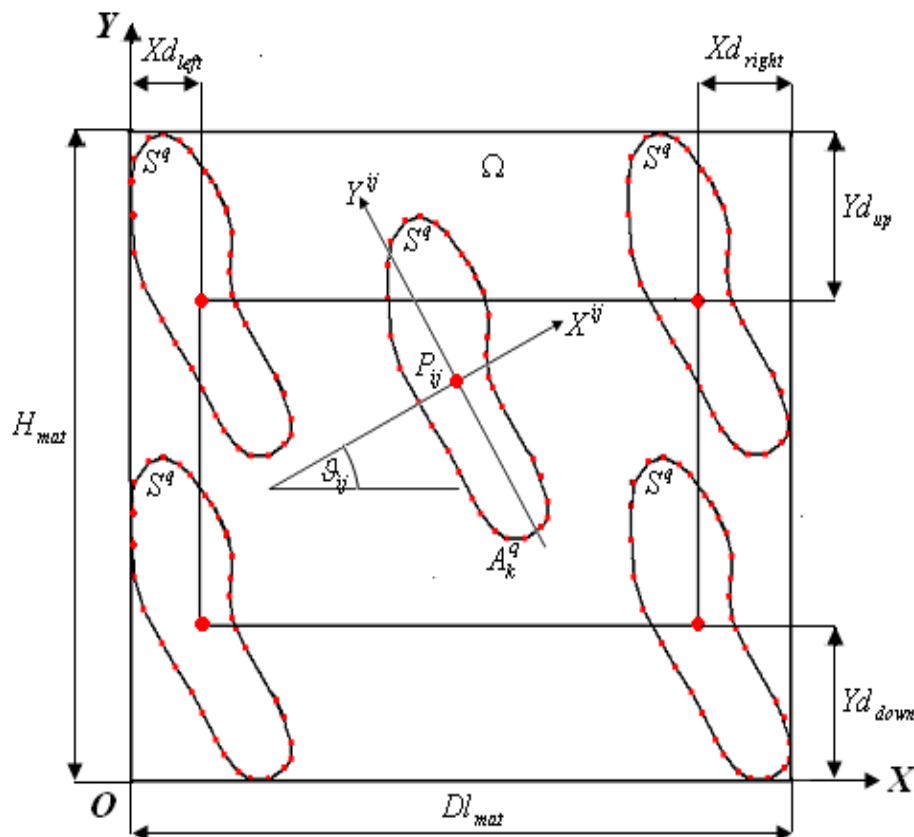


Рис. 2. Визначення положення плоского геометричного об'єкту в прямокутній області Ω

Тоді координати будь-якої вершини $A_k^q(X_{S_k^q}, Y_{S_k^q}), k = 1, 2..n_q$) апроксимуючого багатокутника для плоского геометричного об'єкту S^q в системі координат XOY , що пов'язана з прямокутною областю Ω (рис. 2), визначатимуться наступним чином[3]:

$$\begin{cases} Xsr_k^q = Xs_k^q \cos \theta_{ij} - Ys_k^q \sin \theta_{ij} + Xp_{ij} \\ Ysr_k^q = Xs_k^q \sin \theta_{ij} + Ys_k^q \cos \theta_{ij} + Yp_{ij} \end{cases}, \text{ де } \begin{matrix} i = 1, 2..Kd, & j = 1, 2..Kr \\ q = 1, 2..L \end{matrix}, \quad (2)$$

де Kd – кількість плоских геометричних об'єктів в одному ряду секції, Kr – кількість рядів у секції, L – кількість різних за конфігурацією плоских геометричних об'єктів, для яких необхідно спроектувати схеми розкрою.

Тобто за допомогою виразів (2) можна однозначно аналітично описати зовнішній контур плоского геометричного об'єкту S^q із заданою точністю ϵ у щільній укладці на площині.

Математичне описання системи розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області. За систему розміщення плоских геометричних об'єктів візьмо прямокутну подвійну решітку $W: na + mb + kq$. Для однозначного визначення параметрів подвійної решітки W необхідно визначити вектори a, b, q .

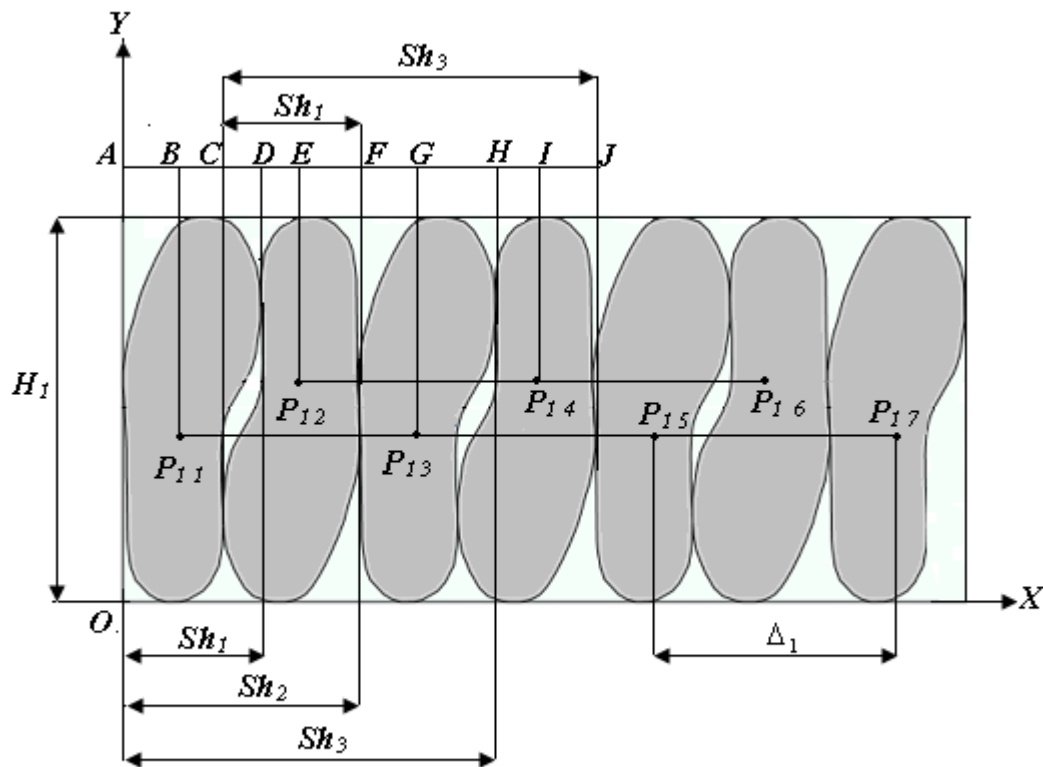


Рис. 3. Параметри, що визначають щільне розміщення плоских геометричних об'єктів в ряду

Визначимо ці вектори через наступні параметри (рис. 3-4):

Sh_1 – ширина одного плоского геометричного об'єкту;

Sh_2 – ширина двох щільно суміщених плоских геометричних об'єктів;

Sh_3 – ширина трьох щільно суміщених плоских геометричних об'єктів;

H_1 – висота одного плоского геометричного об’єкту;
 H_2 – висота двох щільно суміщених плоских геометричних об’єктів;
 $X_{p_{11}}, Y_{p_{11}}$ – координати полюсу P_{11} плоского геометричного об’єкту.

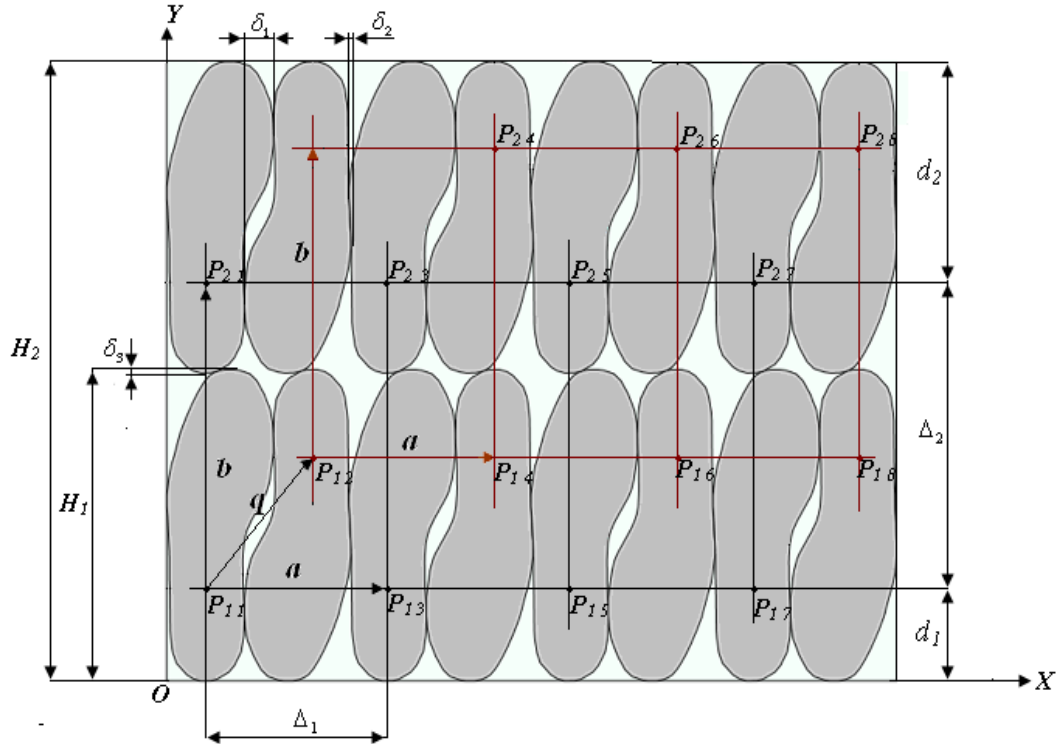


Рис. 4. Параметри, що визначають щільне розміщення плоских геометричних об’єктів в секції

Тоді вектори \mathbf{a} , \mathbf{b} матимуть наступні координати: $\mathbf{a}(\Delta_1, 0)$, $\mathbf{b}(0, \Delta_2)$.

Визначимо Δ_1 та Δ_2 .

Так як $P_{11}P_{13} = P_{13}P_{15} = P_{15}P_{17} = P_{21}P_{23} = P_{23}P_{25} = P_{25}P_{27} = \Delta_1$ (рис. 3), то очевидно, що $\Delta_1 = Sh_3 - AB - GH = Sh_3 - (AB + GH)$. Так як $GH = BC$, а $AB + BC = Sh_1$, то $\Delta_1 = Sh_3 - Sh_1$. Очевидно, що $\Delta_2 = H_2 - d_1 - d_2 = H_2 - (d_1 + d_2)$ (рис. 4). Так як $d_1 + d_2 = H_1$ (рис. 3), то $\Delta_2 = H_2 - H_1$. Тоді $\mathbf{a} \{ \Delta_1, 0 \} = \{ Sh_3 - Sh_1, 0 \}$, $\mathbf{b} \{ 0, \Delta_2 \} = \{ 0, H_2 - H_1 \}$.

З рис. 4 очевидно, що $\mathbf{q} \{ X_{p_{12}} - X_{p_{11}}, Y_{p_{12}} - Y_{p_{11}} \}$. Так як плоский геометричний об’єкт з полюсом P_{12} повернутий відносно плоского геометричного об’єкту з полюсом P_{11} (рис. 2), то $Y_{p_{12}} = H_1 - Y_{p_{11}}$. Визначимо $X_{p_{12}}$. З рис. 3 видно, що $X_{p_{12}} = Sh_2 - EF$. Так як $EF = AB = X_{p_{11}}$, то $X_{p_{12}} = Sh_2 - X_{p_{11}}$. Тоді вектор \mathbf{q} визначається наступним чином:

$$\mathbf{q} \{ X_{p_{12}} - X_{p_{11}}, Y_{p_{12}} - Y_{p_{11}} \} = \{ Sh_2 - 2X_{p_{11}}, H_1 - Y_{p_{11}} \}.$$

Визначивши вектори $\mathbf{a} \{ a_x, 0 \}$, $\mathbf{b} \{ 0, b_y \}$, $\mathbf{q} \{ q_x, q_y \}$ та $X_{p_{11}}, Y_{p_{11}}$ можна виразити координати полюса будь-якого із розміщених в секції плоского геометричного об’єкту через ці величини наступним чином (рис. 4):

$$X_{p_{ij}} = X_{p_{11}} + [i/2] \cdot a_x + (j+1-2 \cdot [(j+1)/2]) \cdot q_x \quad (3)$$

$$Y_{p_{ij}} = Y_{p_{11}} + (i+1) \cdot b_y + (j+1-2 \cdot [(j+1)/2]) \cdot q_y \quad (4)$$

$$i = 1, 2 \dots Kd, \quad j = 1, 2 \dots Kr$$

де $Kd = [(Dl_{mat} - Dl_1) / a_x]$, $Kr_{max} = [(H_{mat} - H_1) / b_y]$ та $Kr = 1, 2 \dots Kr_{max}$,

Kr_{max} – максимальна можлива кількість рядів у секціях для заданого плоского геометричного об'єкту.

Отримання аналітичного виразу для функції цілі. За функцію цілі візьмемо щільність P_{jm} секції Q_{jm} , – це відношення чистої площі плоских геометричних об'єктів S_j , які розміщені у секції до площі секції, тобто

$$P_{jm} = N_{jm} |S_j| / (Dl_{mat} \cdot H_{jm}),$$

де N_{jm} – кількість плоских геометричних об'єктів S^j , що розміщені у секції Q_{jm} ;
 $|S_j|$ – площа плоского геометричного об'єкта S^j .

Визначимо N_{jm} , H_{jm} . Очевидно, що:

$$N_{jm} = Kd \cdot Kr; \quad H_{jm} = (Kr - 1) \cdot b_y + H_1.$$

Алгоритм генерування секцій. Для кожного із плоских геометричних об'єктів S_i , $i=1, 2, \dots, Kdet$ генеруємо множину допустимих секцій за наступним алгоритмом:

- визначаємо параметри $Xp_{11}, Yp_{11}, Sh_1, Sh_2, Sh_3, H_1, H_2$ для плоского геометричного об'єкту S_i ;
- визначаємо вектори решітки a, b, q для плоского геометричного об'єкту S_i ;
- визначаємо параметри $Xp^A_{11}, Yp^A_{11}, Sh^A_1, Sh^A_2, Sh^A_3, H^A_1, H^A_2$ для плоского геометричного об'єкту S_i , які забезпечать сталу відстань Δ між плоскими геометричними об'єктами S_i при їх щільному розміщенні;
- визначаємо вектори решітки a^A, b^A, q^A для плоского геометричного об'єкту S_i , які забезпечать сталу відстань Δ між плоскими геометричними об'єктами S_i при їх щільному розміщенні;
- визначаємо Kd - максимальну можливу кількість плоских геометричних об'єктів S_i в ряду секції;
- визначаємо максимальну можливу кількість рядів Kr_{max} в секції для плоского геометричного об'єкту S_i ;
- генеруємо секції для плоского геометричного об'єкту S_j , $j=1, 2, \dots, k$ з одного ряду, двох рядів і так до Kr_{max} рядів.

Генерування множини допустимих схем розкрою. Схеми розкрою генеруються із комбінації однієї, двох, трьох секцій для різних плоских геометричних об'єктів із множини згенерованих секцій (рис. 5). Схему розкрою будемо вважати допустимою, якщо для неї виконується наступна умова: $P_{sx} \geq P_0$, де P_{sx} - щільність розміщення плоских геометричних об'єктів в схемі розкрою, P_0 – наперед задана допустима щільність розміщення плоских геометричних об'єктів в схемі розкрою.

Щільність розміщення плоских геометричних об'єктів в схемі розкрою визначається наступним чином:

- для схеми, що складається з однієї секції (рис. 5.а)

$$P_{sx} = P_{jm} \cdot H_{jm} / H_{mat};$$

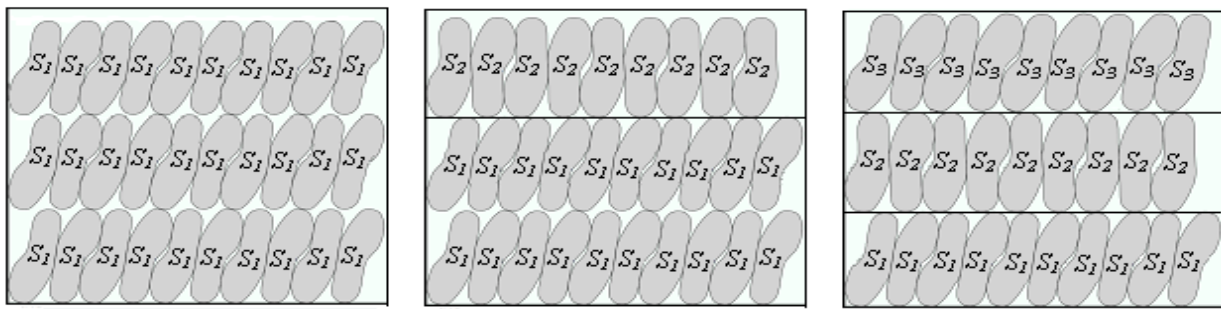
- для схеми, що складається з двох секцій (рис. 5.б)

$$P_{sx} = (P_{jm} \cdot H_{jm} + P_{it} \cdot H_{it}) / H_{mat};$$

- для схеми, що складається з трьох секцій (рис. 5.в)

$$P_{sx} = (P_{jm} \cdot H_{jm} + P_{it} \cdot H_{it} + P_{nr} \cdot H_{nr}) / H_{mat},$$

де P_{jm} , P_{it} , P_{nr} – відповідно щільність розміщення плоских геометричних об'єктів в j , i , n – их секціях відповідно для плоских геометричних об'єктів S_m , S_t , S_r .



а) Схеми, що складається б) Схеми, що складається б) Схеми, що складається

Рис. 5. Варіанти допустимих схем розкрою

Алгоритм генерування схем розкрою. Алгоритм генерування схем розкрою складається із трьох основних частин:

- генерування схем розкрою для одного виду плоского геометричного об'єкту S_j , $j=1,2..k$. Це будуть секції для плоских геометричних об'єктів S_j , $j=1,2..k$ з максимально допустимою кількістю рядів;
- генерування схем розкрою із двох секцій з різними видами плоских геометричних об'єктів;
- генерування схем розкрою із трьох секцій з різними видами плоских геометричних об'єктів.

введемо поняття план розкрою.

Під планом розкрою будемо розуміти набір схем розкрою із згенерованих схем розкрою, які забезпечують комплектний вихід в плоских геометричних об'єктів та мінімізують відходи при розкрої матеріалу.

Підзадача «Комплект». Із множини допустимих схем розкрою \hat{S}_{kr} вибрати таку підмножину схем \hat{S}_{kr}^* , комбінація яких утворить план розкрою, в якому буде врахований комплектний вихід плоских геометричних об'єктів та використання матеріалу буде максимальним.

Математична постановка підзадачі «Комплект».

Аналітичне представлення вимог комплектного виходу. Аналітичне представлення вимог комплектного виходу має вигляд

$$N_j - \chi \leq \sum_{i=1}^r A_{ij} \cdot x_i \leq N_j, \quad j=1,2..q,$$

де q – кількість видів плоских геометричних об'єктів S_j , для яких будується план розкрою, N_j – потреба в плоскому геометричному об'єкті S_j , A_{ij} – кількість плоских геометричних об'єктів S_j в i -ій схемі розкрою, X_i – кількість i -их схем розкрою в плані розкрою, χ – допустиме відхилення від комплектного виходу.

Множина допустимих розв'язків задачі. Множиною допустимих розв'язків задачі „Комплект” будуть підмножини секцій із множини згенерованих секцій \hat{S}_i , для яких

$$N_j - \chi \leq \sum_{i=1}^r A_{ij} \cdot x_i \leq N_j, \quad j=1,2..q.$$

Функція цілі. Функція цілі для задачі «Комплект» має наступний аналітичний вигляд:

$$L=f(X_i, S_j, N_j, D_{l_{mat}}, H_{mat}) = \sum_{i=1}^r X_i \cdot D_{l_{mat}} \cdot H_{mat} - \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^r X_{ii} \cdot |S_j| \cdot A_{ij} \rightarrow \min ,$$

де $S_{h_{mat}}$ та H_{mat} – габаритні розміри прямокутної області; $|S_j|$ – площа плоского геометричного об'єкту $S_j, j=1,2..q$ та $i=1,2..r$.

Висновки. Запропонований метод автоматичного проектування раціональних схем розкрою листових матеріалів на деталі низу взуття дозволив розробити програмне забезпечення для метода автоматизованого проектування схем розкрою, що дозволило підвищити продуктивність праці при підготовці схем розкрою та ефективність використання матеріалів.

Література

1. Chuprynka V.I. Method of construction of lattice pilings of two plane geometric object with different configurations of outer contours/ V.I. Chuprynka, G.Y. Zelinsky, N.V. Chuprynka // The scientific heritage – 2017, – №8, Vol. 1, P. 100-109
2. Чупринка В.І., Чебанюк О.В. Алгоритм автоматичної підготовки вихідної інформації для побудови раціональних схем розкрою / В.І. Чупринка, О.В. Чебанюк // Вісник КНУТД. – 2006. – № 5. – С. 18-22.
3. Ильин В. А. Аналитическая геометрия / В. А. Ильин, Э. Г. Позняк. – М.:Издательство “Наука”, Главная редакция физико-математической литературы., 1975, – 243 с.

References

1. Chuprynka V. I. Method of construction of lattice pilings of two plane geometric object with different configurations of outer contours/ V.I. Chuprynka, G.Y. Zelinsky, N.V. Chuprynka // The scientific heritage – 2017, – №8, Vol. 1, P. 100-109
2. Chuprynka, V. I., Chebanyuk, O. V. (2006) Algorithm avtomatichnoyi pidhotovky vykhidnoyi informatsiyi dlya pobudovy ratsional'nykh skhem rozkroyu [Algorithm of automatic preparation of the initial information for the construction of rational schemes of cutting]. *Visnyk KNUVD – KNUVD Bulletin.*, Vol. 5, 18-22 [in Ukraine].
3. Yl'ynm, V. A. & Poznyak, E. H. (1975) *Analytycheskaya heometryya.* [Analytic geometry]– М.:Yzdatel'stvo “Nauka”, Hlavnaya redaktsyya fizyko-matematicheskoy lyteratury[in Russian]

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМ РАСКРОЯ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ДЕТАЛИ НИЗА ОБУВИ

ЧУПРИНКА В. И., ЗЕЛИНСКИЙ Г. Ю., ЧУПРИНКА Н. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Разработать метод автоматизированного проектирования рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области заданных размеров.

Методика. Использованные методы аналитической геометрии и прикладной математики для проектирования и корректировки рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области.

Результаты. В работе был предложен метод автоматизированного проектирования рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области заданных размеров.

Научная новизна. Предложен метод автоматизированного проектирования рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области заданных размеров, который более эффективен существующих.

Практическая значимость. Результаты теоретических исследований были реализованы в программный модуль для автоматизированного проектирования рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области заданных размеров.

Ключевые слова: плотное размещение, структурные компоненты, функция цели, секция, схема раскроя, план раскроя, программное обеспечение.

**AUTOMATIC DESIGNING SCHEMES OF PUNCHING SHEET MATERIALS ON
DETAILS OF FOOTWEAR FOOTWEAR**

CHUPRYNKA V. I., ZELINSKY G. U., CHUPRYNKA N. V.

Kyiv National University of Technology and Design

Purpose. *To develop a method for the automatic design of rational schemes for the dense placement of planar geometric objects in a rectangular region of specified dimensions.*

Methodology. *The methods of analytical geometry and applied mathematics used to design and correct rational schemes for the dense placement of planar geometric objects in a rectangular region.*

Findings. *In the paper, a method was proposed for the automatic design of rational schemes for the dense placement of planar geometric objects in a rectangular region of specified dimensions.*

Originality. *A method is proposed for automatic design of rational schemes for the dense placement of planar geometric objects in a rectangular region of specified dimensions that is more efficient than existing ones.*

Practical value. *The results of theoretical studies were implemented in a software module for the automatic design of rational schemes for the dense placement of planar geometric objects in a rectangular region of specified dimensions.*

Key words: *dense placement, structural components, target function, section, cutting layout, cutting plan, software.*