

ЧУПРИНКА ВІКТОР

Київський національний університет технологій та дизайну

<http://orcid.org/0000-0001-6869-3091>e-mail: Chuprinka_V_I@ukr.net**НАУМЕНКО БОГДАН**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0009-0002-6905-9206>e-mail: bohdaynych2011@gmail.com

ІНТЕРАКТИВНЕ КОРИГУВАННЯ СПРОЄКТОВАНИХ В АВТОМАТИЧНОМУ РЕЖИМІ РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ РОЗКРОЮ МАТЕРІАЛІВ ПРЯМОКУТНОЇ ФОРМИ НА ДЕТАЛІ ГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ

В роботі розглянута одна із важливих задач автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі виробів шкіргалантереї, а саме задача інтерактивного коригування спроектованих в автоматичному режимі раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі шкіргалантереї.

Для успішного вирішення цієї задачі приведена технологічна та математична постановка цієї задачі..

У задачі інтерактивного проектування схем розкрою рулонних матеріалів для деталей шкіргалантереї були виділені наступні основні структурні компоненти для математичної моделі та представлений аналітичний опис кожної із цих компонент..:

аналітичне подання конфігурації матеріалу;

аналітичне подання інформації про зовнішні контури деталей, що розміщуються;

параметри, які визначають розташування деталей на площині;

аналітичний опис умов, які запобігають перетину деталей з краями матеріалу;

можливість ідентифікації кожної деталі на матеріалі;

забезпечення взаємного не перетину активної деталі із деталями, що вже є схемі розкрою;

аналітичне формулювання цільової функції.

Для опису структурних компонентів:

- *можливість ідентифікації кожної деталі на матеріалі;*

- *забезпечення взаємного не перетину активної деталі із деталями, що вже є схемі розкрою використано метод кутів, який дозволяє однозначно ідентифікувати взаємне розміщення точки та многокутника (активна точка знаходиться всередині многокутника чи зовні його).*

Використавши аналітичний опис виділених структурних компонент запропоновані алгоритми реалізації цієї задачі в програмний продукт для інтерактивного коригування спроектованих в автоматичному режимі раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі шкіргалантереї. Розроблений програмний продукт має дружній інтерфейс та не потребує додаткових знань з комп'ютерних наук при роботі з ним. Цей продукт може бути корисним в підготовчорозкрійному виробництві в галузях легкої промисловості.

Ключові слова: схема розкрою, галантерейні вироби, алгоритм, програмний продукт, інтерактивне коригування, метод кутів, матеріал прямокутної форми.

CHUPRYNKA VIKTOR**NAUMENKO BOGDAN**

Kyiv National University of Technology and Design

INTERACTIVE CORRECTION OF AUTOMATICALLY DESIGNED RATIONAL CUTTING SCHEMES FOR RECTANGULAR MATERIALS ON LEATHER GOODS PARTS

The paper considers one of the important tasks of automated design of rational cutting schemes for rectangular materials on leather goods parts, namely the task of interactive correction of automatically designed rational cutting schemes for rectangular materials on leather goods parts. To successfully solve this task, the technological and mathematical formulation of this task is given. In the task of interactive design of cutting schemes for rolled materials for leather goods parts, the following main structural components for the mathematical model were identified and an analytical description of each of these components is presented: analytical representation of the material configuration; analytical representation of information about the external contours of the parts being placed; parameters that determine the location of parts on the plane; analytical description of conditions that prevent the intersection of parts with the edges of the material; the ability to identify each part on the material; ensuring mutual non-intersection of the active part with parts that are already in the cutting scheme; analytical formulation of the objective function. For the description of structural components: - the ability to identify each part on the material; - to ensure mutual non-intersection of the active part with the parts that are already in the cutting scheme, the method of angles was used, which allows to uniquely identify the mutual placement of the point and the polygon (the active point is inside the polygon or outside it). Using the analytical description of the selected structural components, algorithms for implementing this task were proposed in a software product for interactive correction of rational cutting schemes designed in automatic mode for rectangular materials into leather goods parts. The developed software product has a friendly interface and does not require additional knowledge of computer science when working with it. This product can be useful in preparatory and cutting production in light industry.

Keywords: cutting scheme, haberdashery, algorithm, software product, interactive adjustment, corner method, rectangular material.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Інтерактивне коригування схем розкрою, що спроектовані в автоматичному режимі:

1. **Раціональне використання матеріалів:** Інтерактивне коригування схем розкрою, що спроектовані в автоматичному режимі, дозволяє оптимізувати розкрійні схеми, зменшуючи кількість відходів. Це не лише екологічно, але й економічно вигідно.

2. **Підвищення технологічності спроектованих схем розкрою:** Схеми розкрою, що спроектовані в автоматичному режимі, не завжди повністю задовільняють технологічним вимогам до цих схем. Це можливо виправити в інтерактивному режимі.

3. **Можливість технолога самостійно в інтерактивному режимі спроектувати раціональну схему розкрою, яка буде повністю задовільняти технологічним вимогам до схем розкрою.**

4. **Зниження собівартості виробів:** Ефективне використання матеріалів, які складають вагому вартість шкіргалантерейних виробів, забезпечує зниження собівартості виробів.

5. **Екологічна відповідальність:** Зменшення кількості відходів матеріалів, при їх розкрою, сприяє збереженню навколишнього середовища., А це є важливим фактором екологічної відповідальності.

Загалом, інтерактивне коригування схем розкрою, що спроектовані в автоматичному режимі, дозволить покращити ефективність підготовчо-розкрійного виробництва та якість виробів у шкіргалантерейній галузі легкої промисловості та зниженню собівартості виробів за рахунок ефективного використання матеріалів при розкрою.

Аналіз досліджень та публікацій

Задача автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів відноситься до задач двовимірного пакування є типом задач комбінаторної оптимізації, що спрямована на компактне розміщення плоских геометричних об'єктів. Ця проблема визнана NP-складною і в основному вирішується за допомогою евристичних алгоритмів. Дослідження проблем двовимірного нерегулярного пакування має важливе значення для покращення використання матеріалів і промислової автоматизації. З цієї проблеми було проведено багато досліджень із значними результатами досліджень і певними алгоритмами. Ці роботи зробили важливий внесок у вирішення практичних завдань. У роботі [1] проведений аналіз останніх досягнень в галузі двовимірних проблем нерегулярного пакування на основі різноманітних наукових статей.

Задачі автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів присвячено чимало робіт. Так для генерації множини допустимих секцій, із яких буде згенерована раціональна схема розкрою, в роботі [2] застосовуються генетичні алгоритми. В роботах [3-4] для автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів застосовуються евристичні алгоритми.

Але розкрійні схеми, що згенеровані в автоматичному режимі, не завжди задовільняють технолога і потребують коригування в інтерактивному режимі. Інтерактивному коригуванню схем розкрою на деталі взуття присвячені роботи [5-9]. В цих роботах для ідентифікації деталі в розкрійній схемі та визначення взаємного розміщення активної деталі із деталями в схемі розкрою застосовується метод трасування променю [10]. Недоліком цих робіт є використання не зовсім ефективних алгоритмів для ідентифікації деталі в розкрійній схемі та визначення взаємного розміщення активної деталі із деталями в схемі розкрою.

Тому є актуальним розробка ефективного програмного продукту для інтерактивного коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на галантерейні деталі, який дозволить покращити розкрійні схеми, що спроектовані в автоматичному режимі.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: розробка математичного забезпечення для інтерактивного коригування спроектованих в автоматичному режимі раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів та реалізація його в програмному забезпеченні.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі :

- описати математичну модель та її структурні компоненти задачі інтерактивного коригування спроектованих в автоматичному режимі раціональних схем розкрою;
- реалізувати поставлену задачі в програмний продукт.

Виклад основного матеріалу

Постановка задач інтерактивної побудови та коригування вже побудованих розкрійних схем

Технологічна постановка задач

Задача „Інтерактивна Побудова Рулон”. Інтерактивно побудувати раціональну схему розкрою на матеріалі прямокутної форми та заданого розміру. При цьому забезпечити технологічні вимоги та обмеження, які необхідно врахувати при інтерактивній побудові схем розкрою (орієнтація деталей, крайовий зазор, міжмодельний місток).

Задача „Інтерактивне Коригування Рулон”. Інтерактивно відкоригувати вже спроектовану раціональну схему розкрою на матеріалі прямокутної форми та заданого розміру. При цьому забезпечити технологічні вимоги та обмеження, які необхідно врахувати при інтерактивній побудові схем розкрою (орієнтація деталей, крайовий зазор, міжмодельний місток).

Математична постановка задач

Задача „Інтерактивна Побудова Рулон”. В прямокутній області

$$\Omega: \begin{cases} 0 \leq x \leq Dl \\ 0 \leq y \leq Sh \end{cases}$$

(1)

де Dl та Sh – відповідно довжина та ширина цієї області, розмістити k плоских геометричних об’єктів Q_j з виконанням наступних вимог розміщення:

$$\bigcup_{p=1}^k Q_p \in \Omega \text{ та } Q_i \cap Q_j = 0, i, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j. \quad (2)$$

Задача „Інтерактивне Коригування Рулон”. В прямокутній області

$$\Omega: \begin{cases} 0 \leq x \leq Dl \\ 0 \leq y \leq Sh \end{cases}$$

де Dl та Sh – відповідно довжина та ширина цієї області, серед щільно розміщених плоских геометричних об’єктів $S_i, i = 1, 2, \dots, q$, для яких виконуються наступні умови щільного розміщення:

$$S = \bigcup_{i=1}^q S_i \in \Omega \text{ та } S_i \cap S_j = 0, i, j = 1, 2, \dots, q, i \neq j \quad (3)$$

додатково розмістити k плоских геометричних об’єктів Q_j з виконанням наступних вимог розміщення:

$$\bigcup_{p=1}^k Q_p \in \Omega, S \cap Q_p = 0 \text{ та } Q_i \cap Q_j = 0, i, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j. \quad (4)$$

У задачі інтерактивного проектування схем розкрою рулонних матеріалів для деталей шкіргалантереї можна виділити такі основні структурні компоненти:

- аналітичне подання конфігурації матеріалу;
- аналітичне подання інформації про зовнішні контури деталей, що розміщуються;
- параметри, які визначають розташування деталей на площині;
- аналітичний опис умов, які запобігають перетину деталей з краями матеріалу;
- можливість ідентифікації кожної деталі на матеріалі;
- забезпечення взаємного не перетину активної деталі із деталями, що вже є схемі розкрою;
- аналітичне формулювання цільової функції.

Далі детально розглянемо кожен із зазначених компонентів, враховуючи, що вони мають забезпечувати адекватність, універсальність і економічність математичної моделі.

Аналітичне подання конфігурації матеріалу

Матеріал прямокутної форми можна однозначно представити наступною системою нерівностей:

$$\Omega: \begin{cases} 0 \leq x \leq Dl \\ 0 \leq y \leq Sh \end{cases}$$

де Dl та Sh – відповідно довжина та ширина матеріалу прямокутної форми.

Аналітичне подання інформації про зовнішні контури деталей, що розміщуються

Так як деталі виробів шкіргалантереї здебільшого мають складну конфігурацію зовнішнього контуру і в більшості випадків ці контури не можливо описати аналітично, то ми будемо їх апроксимувати. Для апроксимації зовнішніх контурів деталей найбільше поширення отримав кусково-лінійний метод апроксимації. Тому ми їм скористаємося. При кусково-лінійному методі апроксимації зовнішній контур деталі буде представляти багатокутник. Подалі ми під багатокутниками ми будемо розуміти наші деталі. Для однозначного визначення зовнішнього контуру багатокутника достатньо знати координати його вершин та порядок їх обходу. Тоді будь-яка деталь (многокутник) $S_i, i = 1, 2, \dots, q$ буде однозначно визначатись масивом координат вершин $\{X_{ij}, Y_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, q, j = 1, 2, \dots, N_i$.

Параметри, які визначають розташування деталей на площині

Для однозначного визначення положення деталі (многокутника) $S_i, i = 1, 2, \dots, q$ на площині достатньо знати чотири параметри:

i – ідентифікаційний номер деталі;

X_{p_i}, Y_{p_i} – координати полюса деталі (фіксованої точки на деталі, відносно якої визначені координати вершин на зовнішньому контурі деталі);

θ – кут повороту деталі відносно її базового положення.

Аналітичний опис умов, які запобігають перетину деталей з краями матеріалу

Для кожної деталі $S_i, i = 1, 2, \dots, q$, яка визначається масивом координат вершин $\{X_{ij}, Y_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, q, j = 1, 2, \dots, N_i$ визначимо наступні велечини:

$$- \text{Max}X_{S_i} = \max_{j=1,2,\dots,N_i} \{X_{ij}\}; \text{Max}Y_{S_i} = \max_{j=1,2,\dots,N_i} \{Y_{ij}\};$$

$$- \text{Min}X_{S_i} = \min_{j=1,2,\dots,N_i} \{X_{ij}\}; \text{Min}Y_{S_i} = \min_{j=1,2,\dots,N_i} \{Y_{ij}\};$$

$$- \text{Dl}_{S_i} = \text{Max}X_{S_i} - \text{Min}X_{S_i}; \text{Sh}_{S_i} = \text{Max}Y_{S_i} - \text{Min}Y_{S_i};$$

$$- \text{Dl}_S = \max_{j=1,2,\dots,N_i} \{\text{Dl}_{S_i}\}; \text{Sh}_S = \max_{j=1,2,\dots,N_i} \{\text{Sh}_{S_i}\}.$$

Тоді умовою не перетину з краями матеріалу, при розміщенні на матеріалі деталі $S_i, i = 1, 2, \dots, q$, буде виконання для полюсу $P_i(X_{p_i}, Y_{p_i})$ цієї деталі наступної нерівності:

$$\begin{cases} |MinX_{S_i}| \leq Xp_i \leq Dl - |MaxX_{S_i}|; \\ |MinY_{S_i}| \leq Yp_i \leq Dl - |MaxY_{S_i}| \end{cases} \quad (5)$$

Ідентифікація будь-якої деталі на матеріалі

Для вилучення будь-якої деталі із розкрійної схеми її потрібно ідентифікувати. Для ідентифікації деталі в розкрійній схемі застосовується двоступеневий алгоритм. На першому ступені ідентифікації ми визначаємо множину допустимих для вилучення деталей із розкрійної схеми. На другому ступені ідентифікації ми визначаємо ту єдину деталь, для якої точка, де знаходиться курсор, належить цій деталі.

Перший ступінь ідентифікації деталі. Нехай координати точки, де знаходиться курсор визначені наступним чином: $O(X_o, Y_o)$. Тоді для полюсів множини допустимих для вилучення деталей повинна виконуватись наступна система нерівностей: Тобто полюси допустимих для вилучення деталей належать зафарбованому прямокутнику довжиною Dl_S та шириною Sh_S з центром в точці O (рис.1).

$$\begin{cases} -Dl_S/2 + X_o \leq Xp_i \leq Dl_S/2 + X_o \\ -Sh_S/2 + Y_o \leq Yp_i \leq Sh_S/2 + Y_o \end{cases} \quad (6)$$

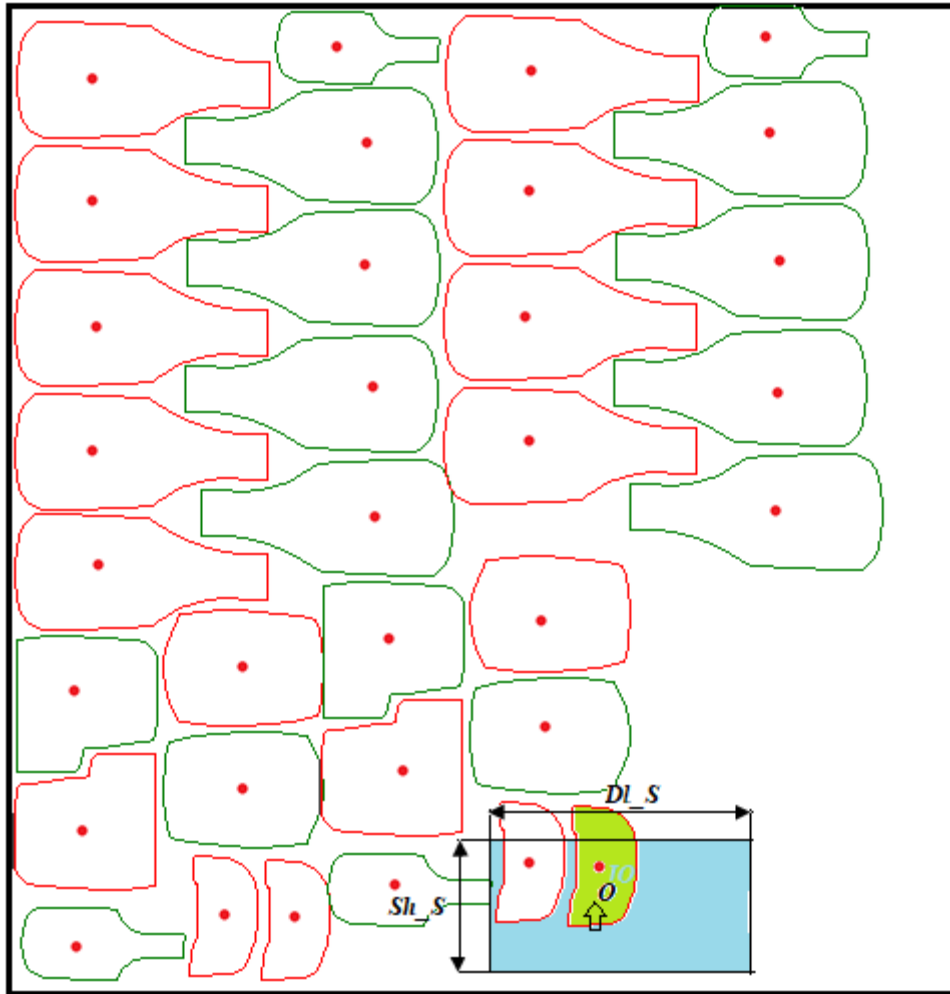


Рис. 1. Визначення множини допустимих деталей для вилучення із розкрійної схеми

Друга ступінь ідентифікації деталі. Для ідентифікації єдиної деталі на розкрійній схемі за допомогою точки, де знаходиться курсор, необхідно визначити, чи належить ця точка заданому многокутнику, який представляє контур цієї деталі. Один із методів, що використовується для цього, – метод кутів [10].

Суть методу кутів

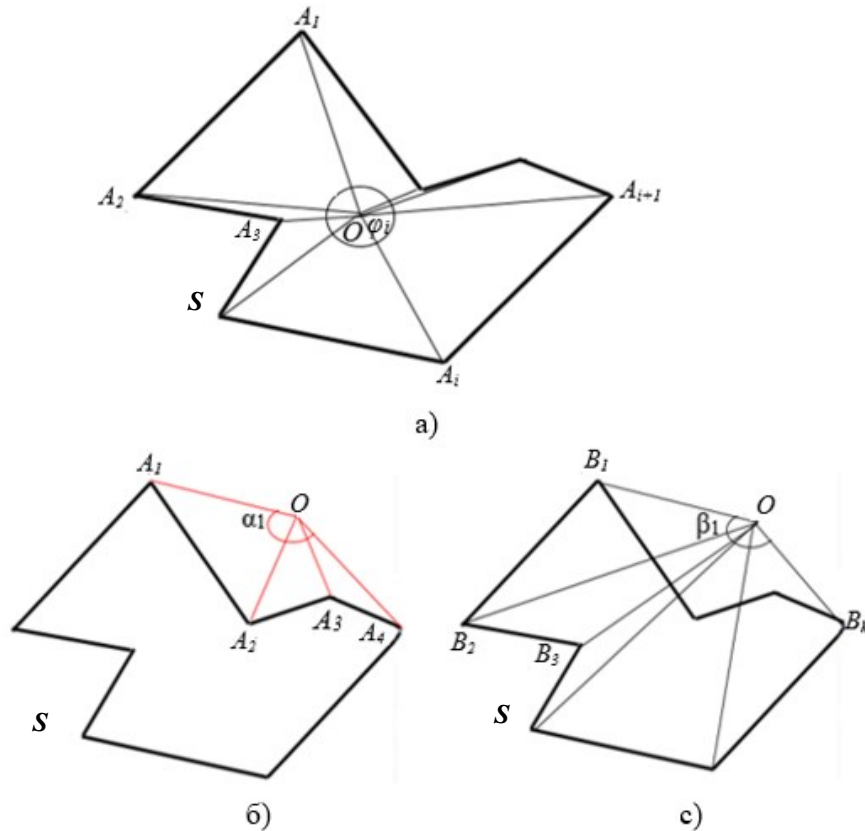
Метод кутів базується на обчисленні суми геометричних кутів, які утворює задана точка з усіма вершинами многокутника. Основні етапи методу:

1. *Обчислення кутів*

Для кожної пари сусідніх вершин многокутника A_i та A_{i+1} визначається кут, який утворюється точкою O з цими вершинами.

2. *Сума кутів*

$\phi = \sum_{i=1}^k \phi_i = 2\pi = 0^\circ$ (рис.2.а), якщо точка O знаходиться всередині многокутника S . Суми всіх кутів повинні дорівнювати всередині многокутника S . Якщо точка O знаходиться зовні, многокутника S , суми всіх кутів повинні дорівнювати $\phi = \sum_{i=1}^{k_1} \alpha_i + \sum_{i=1}^{k_2} \beta_i = 0^\circ$, так як $\sum_{i=1}^{k_1} \alpha_i = -\sum_{i=1}^{k_2} \beta_i$ (рис. 2.б-в).

Точка O знаходиться всередині деталі S ; б-с) Точка O знаходиться зовні деталі S .а) Рис. 2 Взаємне розміщення деталі S та точки O

3. Алгоритм обчислення

Нехай маємо три точки $A_i(Xa_i, Ya_i)$, $A_{i+1}(Xa_{i+1}, Ya_{i+1})$ та $O(Xo, Yo)$. Розглянемо вектори $OA_i = \{Xa_i - Xo, Ya_i - Yo\}$ та $OA_{i+1} = \{Xa_{i+1} - Xo, Ya_{i+1} - Yo\}$. Для обчислення кута ϕ_i між векторами OA_i та OA_{i+1}

використаємо скалярний та векторний добуток цих векторів [11]. Із скалярного добутку цих векторів обчислимо $\cos \phi_i$:

$$\cos \phi = \frac{(Xa_i - Xo)(Xa_{i+1} - Xo) + (Ya_i - Yo)(Ya_{i+1} - Yo)}{\sqrt{(Xa_i - Xo)^2 + (Ya_i - Yo)^2} \sqrt{(Xa_{i+1} - Xo)^2 + (Ya_{i+1} - Yo)^2}}; \quad (7)$$

$$\sin \phi = \frac{(Xa_i - Xo)(Ya_{i+1} - Yo) - (Xa_{i+1} - Xo)(Ya_i - Yo)}{\sqrt{(Xa_i - Xo)^2 + (Ya_i - Yo)^2} \sqrt{(Xa_{i+1} - Xo)^2 + (Ya_{i+1} - Yo)^2}}. \quad (8)$$

$$\text{Тоді } r = \operatorname{tg} \phi = \sin \phi / \cos \phi = \frac{(Xa_i - Xo)(Ya_{i+1} - Yo) - (Xa_{i+1} - Xo)(Ya_i - Yo)}{(Xa_i - Xo)(Xa_{i+1} - Xo) + (Ya_i - Yo)(Ya_{i+1} - Yo)} \quad (9)$$

Якщо $\cos \phi > 0$ та $-1 < \sin \phi < 1$, то $\phi = \operatorname{arctg} r$;

якщо $\cos \phi < 0$ та $\sin \phi \geq 0$, то $\phi = \operatorname{arctg} r + \pi$;

якщо $\cos \phi < 0$ та $\sin \phi < 0$, то $\phi = \operatorname{arctg} r - \pi$;

якщо $\cos \phi = 0$ та $\sin \phi = 1$, то $\phi = \pi/2$;

якщо $\cos \phi = 0$ та $\sin \phi = -1$, то $\phi = -\pi/2$.

4. Результат

- Якщо сума всіх кутів дорівнює 2π , то точка O належить многокутнику.
- Якщо сума дорівнює 0° , то точка знаходиться поза многокутником.

Переваги методу кутів

- Простота реалізації.
- Підходить для довільних многокутників, включаючи випуклі й невивуклі.

Обмеження

- Для великої кількості вершин обчислення може бути повільним.
- Може бути складним у випадках, коли точки многокутника розташовані дуже близько одна до одної (числові похибки)

Забезпечення взаємного не перетину активної деталі із деталями, що вже є схемі розкрою.

Для забезпечення взаємного не перетину активної деталі із деталями, що вже є схемі розкрою застосовується трьохступеневий алгоритм.

Перший ступінь забезпечення взаємного не перетину активної деталі із деталями, що вже є схемі розкрою. На цьому ступені визначаються деталі із вже побудованої схеми розкрою, які можуть перетинатися із активною деталлю з полюсом $P(X_p, Y_p)$ (рис. 3), яку ми хочемо додати в схему розкрою. Деталі, полюси яких попадають належать зафарбованому прямокутнику довжиною $2Dl_S$ та шириною $2Sh_S$ з центром в точці P , є деталі із схеми розкрою, з якими можливий перетин з активної деталі із полюсом в точці P . Координати полюсів цих деталей повинні задовольняти наступним нерівностям:

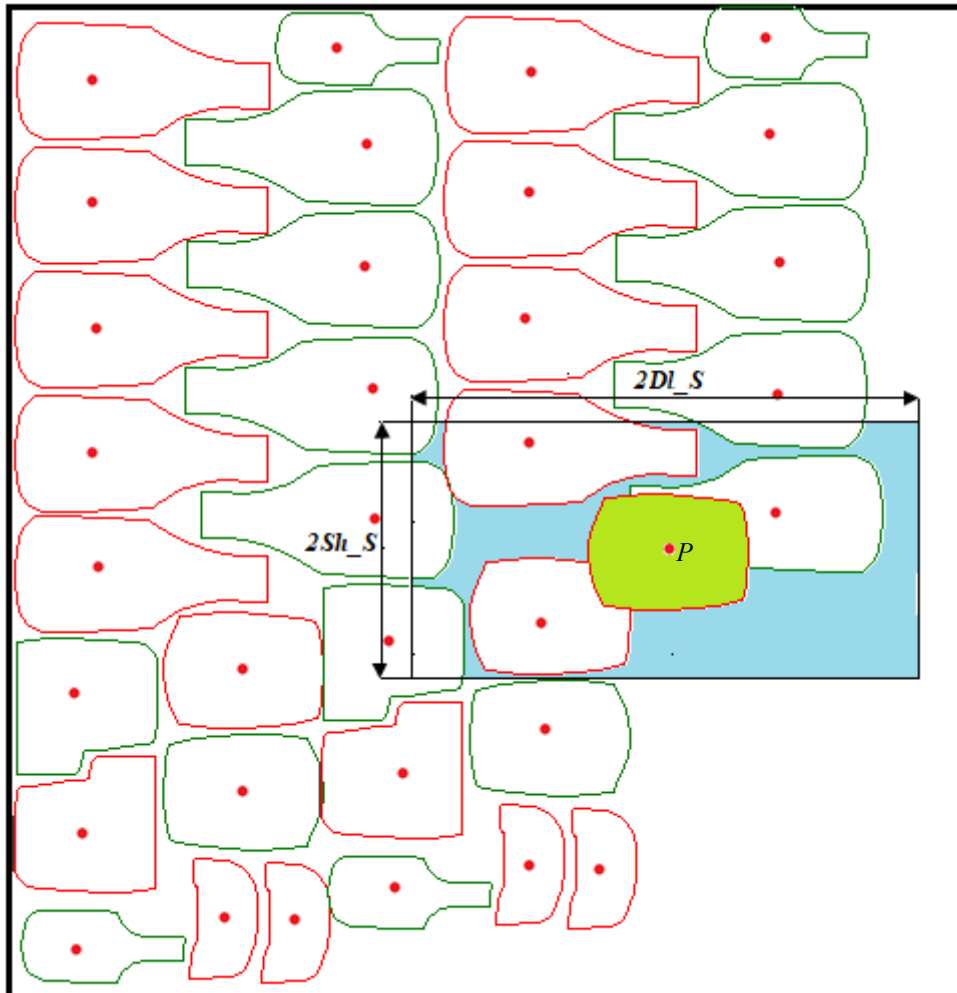


Рис. 3. Визначення множини допустимих деталей з якими може перетинатись активна деталь при додаванні її в розкрійну схему

$$\begin{cases} -Dl_S + X_p \leq X_{pi} \leq Dl_S + X_p \\ -Sh_S + Y_p \leq Y_{pi} \leq Sh_S + Y_p \end{cases} \quad (10)$$

Другий ступінь забезпечення взаємного не перетину активної деталі із деталями, що вже є схемі розкрою.

На цьому ступені визначається взаємне розміщення прямокутника зі сторонами паралельними осям координат, що описаний навколо активної деталі, та аналогічного прямокутника для деталей із схеми розкрою, полюси яких задовольняти нерівностям(10). Для початкового визначення взаємного розміщення двох плоских геометричних об'єктів S_1 та S_2 (перетинаються чи не перетинаються ці об'єкти) опишемо навколо них прямокутники $F_{1a}F_{1b}F_{1c}F_{1d} \{X_{S_{1i}}, Y_{S_{1i}}\}, i=1,2..4$ та $F_{2a}F_{2b}F_{2c}F_{2d} \{X_{S_{2i}}, Y_{S_{2i}}\}, i=1,2..4$ зі сторонами, що паралельні осям координат(рис.4)

Можливі три випадки:

- прямокутники не перетинаються(рис.4.а). Тоді активна деталь не перетинається із цією деталлю із схеми розкрою;
- прямокутники перетинаються(рис. 4.б). Тоді активна деталь можливо перетинається із цією деталлю із схеми розкрою. Необхідно додаткова перевірка;
- один прямокутник знаходиться в середині іншого(рис.4.в-г). Тоді активна деталь можливо перетинається із цією деталлю із схеми розкрою. Необхідно додаткова перевірка;

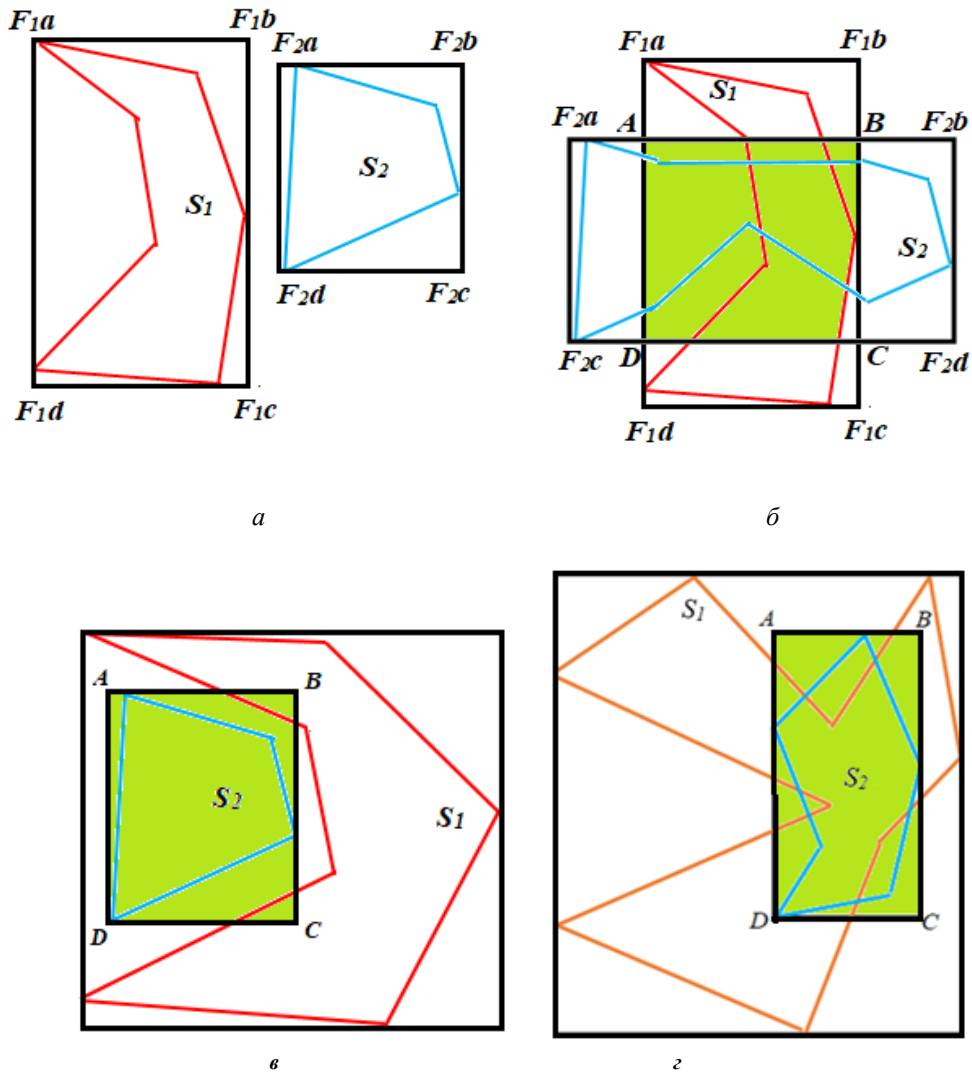


Рис. 4. Взаємне розміщення прямокутників, що описані навколо деталей S_1 та S_2

Нехай $X_{max}S_1 = \max\{X_{S_{1i}}\}$, $Y_{max}S_1 = \max\{Y_{S_{1i}}\}$, $X_{min}S_1 = \min\{X_{S_{1i}}\}$, $Y_{min}S_1 = \min\{Y_{S_{1i}}\}$, $X_{max}S_2 = \max\{X_{S_{2i}}\}$, $Y_{max}S_2 = \max\{Y_{S_{2i}}\}$, $X_{min}S_2 = \min\{X_{S_{2i}}\}$, $Y_{min}S_2 = \min\{Y_{S_{2i}}\}$, де $i=1, 2..4$.

Знайдемо $MinYup = \min\{Y_{max}S_1, Y_{max}S_2\}$, $MinXrt = \min\{X_{max}S_1, X_{max}S_2\}$, $MaxYdw = \max\{Y_{min}S_1, Y_{min}S_2\}$, $MaxXlf = \max\{X_{min}S_1, X_{min}S_2\}$.

Прямокутна область $ABCD$ можливого перетину двох плоских геометричних об'єктів S_1 та S_2 буде не пустою, коли виконується наступна система нерівностей:

$$\begin{cases} MinYup > MaxYdw \\ MinXrt > MaxXlf \end{cases} \quad (11)$$

Тоді ця прямокутна область визначатиметься координатами її вершин наступним чином: $A(MaxXlf, MinYup)$, $B(MinXrt, MinYup)$, $C(MinXrt, MaxYdw)$, $D(MaxXlf, MaxYdw)$.

В цьому випадку сторони зовнішніх контурів двох плоских геометричних об'єктів S_1 та S_2 , які знаходяться всередині прямокутної області $ABCD$ можуть перетинатися, тобто необхідне дослідження взаємного розміщення цих сторін.

Якщо система нерівностей (11) не виконується, то плоскі геометричні об'єкти S_1 та S_2 не перетинаються (рис.4.а).

Якщо $MinYup = Y_{max}S_1$, $MinXrt = X_{max}S_1$, $MaxYdw = Y_{min}S_1$, $MaxXlf = X_{min}S_1$, то плоский геометричний об'єкт S_1 заходить в середині плоского геометричного об'єкту S_2 , або в середині прямокутника, який описаний навколо плоского геометричного об'єкту S_2 .

Якщо $MinYup = Y_{max}S_2$, $MinXrt = X_{max}S_2$, $MaxYdw = Y_{min}S_2$, $MaxXlf = X_{min}S_2$, то плоский геометричний об'єкт S_2 заходить в середині плоского геометричного об'єкту S_1 , або в середині прямокутника, який описаний навколо плоского геометричного об'єкту S_1 (рис. 4.в-г).

Третій ступінь забезпечення взаємного не перетину активної деталі із деталями, що вже є схемі розкрою.

Визначемо ті деталі, із спроектованої розкрійної схеми, для яких прямокутна область $ABCD$ можливого перетину із активною деталлю є не пустою, тобто для яких виконується система нерівностей (11).

Перевіримо ці деталі на перетин із активною деталлю за наступним критерієм:

- дві деталі не перетинаються, якщо жодна вершина однієї деталі, яка належить прямокутній області $ABCD$ можливого перетину, не належить іншій деталі;
- дві деталі перетинаються, якщо хоч одна вершина однієї деталі, яка належить прямокутній області $ABCD$ можливого перетину, належить іншій деталі.

Аналітичне формулювання цільової функції.

Після інтерактивного коригування спроектованих в автоматичному режимі раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі шкіргалантереї коефіцієнт використання матеріалу P_{kor} повинен задовольняти наступній нерівності:

$$P_{kor} = \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot |S_i|}{Dl \cdot Sh} = \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot \sum_{j=1}^{N_i-1} |X_{ij} \cdot Y_{ij+1} - X_{i+1j} \cdot Y_{ij}|}{2 \cdot Dl \cdot Sh} > P_0, \tag{12}$$

де $S_i k_i(X_{ij}, Y_{ij}), i = 1, 2 \dots q, j = 1, 2 \dots N_i$

де $Dl, \vec{\leftrightarrow} \vec{\leftrightarrow} Sh$ - відповідно довжина та ширина матеріалу;

P_{kor}, P_0 - відповідно коефіцієнт використання матеріалу після коригування та до коригування схеми розкрою;

$|S_i|$ - площа деталі $S_i, i = 1, 2 \dots q$;

k_i - кількість деталей $S_i, i = 1, 2 \dots q$; у розкрійній схемі після коригування;

$(X_{ij}, Y_{ij}), i = 1, 2 \dots q, j = 1, 2 \dots N_i$ - координати вершин на зовнішньому контурі деталі, де q – кількість деталей з різною формою в розкрійній схемі, N_i – кількість вершин на зовнішньому контурі у деталі S_i .

Результати програмної реалізації автоматизованого проєктування раціональних розкрійних матеріалів прямокутної форми на галантерейні деталі. Запропонована математична модель інтерактивного коригування спроектованих в автоматичному режимі раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі шкіргалантереї та аналітичний опис її структурних компонентів дозволив розробити алгоритми, які були реалізовані в програмний продукт в середовищі програмування Delphi. Розроблений програмний продукт легкий у використанні та не потребує багато часу для оволодіння ним.

Крім того, інформація про спроектовані розкрійні схеми може бути збережена у файлі та використана розкрійним обладнанням для автоматичного розкрою матеріалу на деталі галантерейних виробів за спроектованою схемою розкрою.

На рис. 5 представлено спроектовану в автоматичному режимі схему розкрою за допомогою програмного продукту, який запропонований в роботах [3-4].

На рис. 6 представлена ця схема розкрою після її коригування за допомогою розробленого програмного продукту для інтерактивного коригування розкрійних схем.

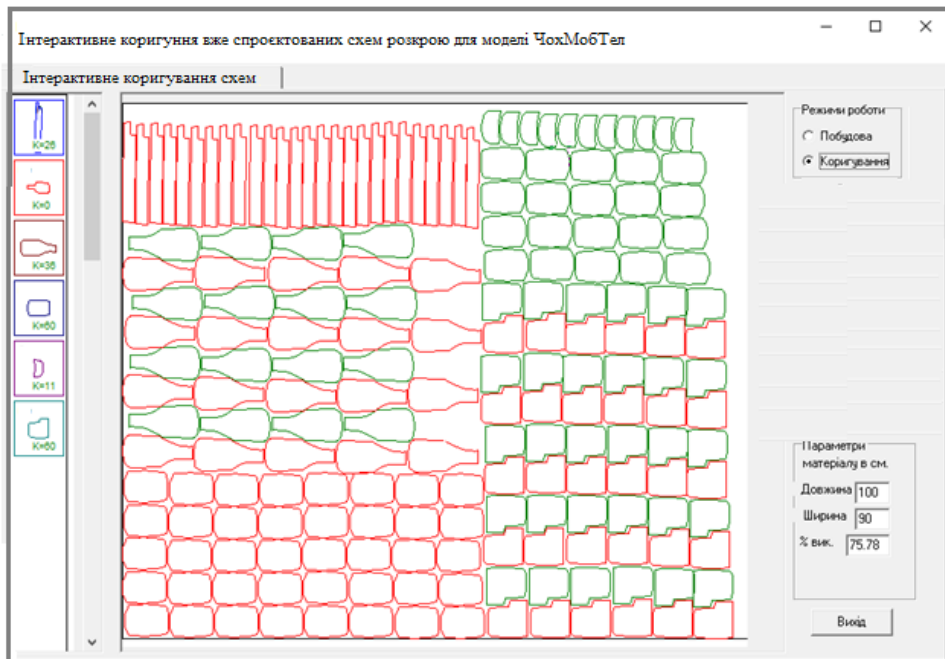


Рис. 5. Схема розкрою, що спроектована в автоматичному режимі

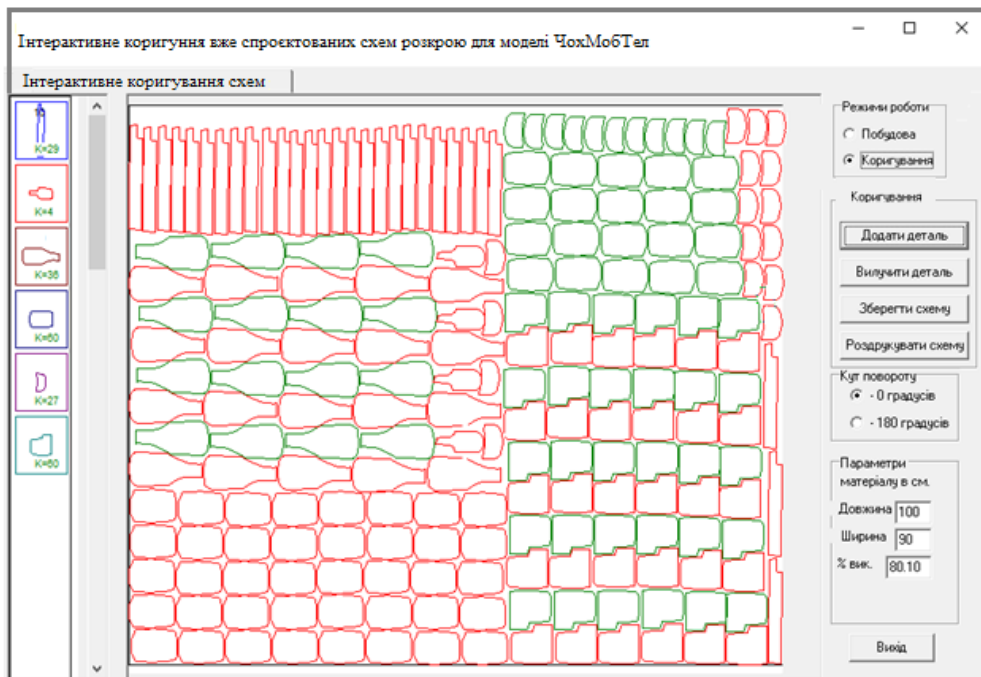


Рис. 6. Схема розкрою, що спроектована в автоматичному режимі, після інтерактивного коригування

Це програмне забезпечення є більш ефективним, від запропонованих в роботах [5-9], так як зменшує час на визначення взаємного розміщення деталей із розкрійної схеми з активною деталлю та покращує розкрійну схему, що була спроектована в автоматичному режимі. Звідси очевидно, що запропоноване програмне забезпечення буде корисним в підготовчо-розкрійному виробництві в шкіргалантерейному виробництві

Висновки з даного дослідження

В роботі дана технологічна та математична постановка задачі інтерактивного проектування схем розкрою рулонних матеріалів для деталей шкіргалантереї.

У цій задачі були виділені наступні основні структурні компоненти та представлений аналітичний опис кожної із цих компонентів.

Використавши аналітичний опис виділених структурних компонентів були запропоновані алгоритми реалізації цієї задачі в програмний продукт для інтерактивного коригування спроектованих в автоматичному режимі раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі шкіргалантереї.

Розроблений програмний продукт має дружній інтерфейс та не потребує додаткових знань з комп'ютерних наук при роботі з ним.

Цей продукт може бути корисним в підготовчо-розкрійному виробництві в галузях легкої промисловості.

Література

1. Guo, B., Zhang, Y., Hu, J., Li, J., Wu, F., Peng, Q., & Zhang, Q. (2022). To dimensional irregular packing problems: A review. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmech.2022.966691>
2. Колиско, О. З. (2009). Модифікація генетичного алгоритму для генерації секцій розкрійних схем. *Вісник КНУТД*, 1, 54–56. https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/6983/1/V45_P014-017.pdf
3. Чупринка, В. І., Науменко, Б. В., & Чупринка, Н. В. (2024). Автоматизоване проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 4, 208–215. <https://doi.org/10.31891/pkve2;93>
4. Чупринка, В. І., Науменко, Б. В., & Осипенко, В. В. (2024). Генерування допустимої множини розкладок для автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 5, 100–108. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-341>
5. Шишкіна, О. О., & Свістунова, Л. Т. (2002). Проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів на деталі взуття з урахуванням розмірного асортименту. *Вісник КНУТД*, 2, 35–38.
6. Шишкіна, О. О., & Свістунова, Л. Т. (2003). Програмний комплекс для проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів на деталі взуття з урахуванням розмірного асортименту. *Вісник Технологічного університету Поділля*, 4, 110–114.

7. Колиско, О. З., & Омельченко, П. В. (2006). Інтерактивна побудова схем розкрою натуральних матеріалів на деталі взуття та шкіргалантерейних виробів. *Вісник КНУТД*, 1, 78–82.
8. Колиско, О. З. (2006). Інтерактивне коригування розкрійних схем, що побудовані в автоматичному режимі. *Вісник Хмельницького національного університету*, 1(Ч1), 76–79.
9. Пінчук, А. В., & Чебанюк, О. В. (2009). Інтерактивна побудова та коригування вже побудованих схем розкрою. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*, 6, 279–284.
10. Laszlo, M. J. (1996). *Computational geometry and computer graphics in C++*. Prentice Hall.
11. Зайцев, Є. П. . *Вища математика. Лінійна та векторна алгебра, аналітична геометрія, вступ до математичного аналізу*. Алерта.

References

1. Guo, B., Zhang, Y., Hu, J., Li, J., Wu, F., Peng, Q., & Zhang, Q. (2022). To dimensional irregular packing problems: A review. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmech.2022.966691>
2. Kolysko, O. Z. (2009). Modyfikatsiia henetychnoho alhorytmu dlia heneratsii sektsii rozkriinykh skhem. *Visnyk KNUTD*, 1, 54–56. https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/6983/1/V45_P014-017.pdf
3. Chuprynka, V. I., Naumenko, B. V., & Chuprynka, N. V. (2024). Avtomatyzovane proiektuvannia ratsionalnykh skhem rozkroiu materialiv priamokutnoi formy na detali halantereinykh vyrobiv. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 4, 208–215. <https://doi.org/10.31891/pkve2j93>
4. Chuprynka, V. I., Naumenko, B. V., & Osypenko, V. V. (2024). Heneruvannia dopustymoї mnozhyny rozkladok dlia avtomatyzovanoho proiektuvannia ratsionalnykh skhem rozkroiu materialiv priamokutnoi formy na detali halantereinykh vyrobiv. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 5, 100–108. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-341>
5. Shyshkina, O. O., & Svistunova, L. T. (2002). Proiektuvannia ratsionalnykh skhem rozkroiu rulonnykh materialiv na detali vzuttia z urakhuvanniam rozmirnoho asortymentu. *Visnyk KNUTD*, 2, 35–38.
6. Shyshkina, O. O., & Svistunova, L. T. (2003). Prohramnyi kompleks dlia proiektuvannia ratsionalnykh skhem rozkroiu rulonnykh materialiv na detali vzuttia z urakhuvanniam rozmirnoho asortymentu. *Visnyk Tekhnolohichnoho universytetu Podillia*, 4, 110–114.
7. Kolysko, O. Z., & Omelchenko, P. V. (2006). Interaktyvna pobudova skhem rozkroiu naturalnykh materialiv na detali vzuttia ta shkirhalantereinykh vyrobiv. *Visnyk KNUTD*, 1, 78–82.
8. Kolysko, O. Z. (2006). Interaktyvne koryhuvannia rozkriinykh skhem, shcho pobudovani v avtomatychnomu rezhymi. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 1(Ch1), 76–79.
9. Pinchuk, A. V., & Chebaniuk, O. V. (2009). Interaktyvna pobudova ta koryhuvannia v zhe pobudovanykh skhem rozkroiu. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia*, 6, 279–284.
10. Laszlo, M. J. (1996). *Computational geometry and computer graphics in C++*. Prentice Hall.
11. Zaitsev, Ye. P. (n.d.). *Vyshcha matematika. Liniina ta vektorna alhebra, analitychna heometriia, vstup do matematychnoho analizu*. Alerta.