

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: bohdaych2011@gmail.com

ІНТЕРАКТИВНА ПОБУДОВА ТА КОРИГУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ РОЗКРОЮ НАТУРАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗІ СКЛАДНОЮ КОНФІГУРАЦІЄЮ ЗОВНІШНІХ КОНТУРІВ НА ДЕТАЛІ ГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ

В роботі розглянута одна із важливих задач автоматизованого проектування раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною формою зовнішнього контуру на деталі виробів шкіргалантереї, а саме задача інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною формою зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї.

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

У задачі інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною формою зовнішнього контуру були виділені основні структурні компоненти для математичної моделі та представлений аналітичний опис кожної із цих компонент.

Використавши аналітичний опис виділених структурних компонент запропоновані алгоритми реалізації цієї задачі в програмний продукт для інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною формою зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї.

Розроблений програмний продукт забезпечує:

- введення інформації про зовнішні контури натурального матеріалу, вад на матеріалі та деталей моделі, для якої в інтеативному режимі проектується раціональна схема розкрою;
- інтерактивне вилучення будь-якої деталі із схеми розкрою;
- інтеративне додавання активної деталі в необхідне місце на матеріалі. При цьому забезпечується контроль не перетину активної деталі з контуром матеріалу, вадами на матеріалі та іншими деталями, які вже розміщені в схемі розкрою;
- визначення проценту використання матеріалі у спроектованій схемі розкрою;
- збереження необхідної інформації у файлі про спроектовану схему розкрою;
- вивід на друк спроектовану схему розкрою.

Розроблений програмний прподукт 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.

Ключові слова: схема розкрою, галантерейні вироби, алгоритм, програмний продукт, інтерактивне коригування, метод кутів, вади матеріалу, натуральний матеріал

CHUPRYNKA VIKTOR**NAUMENKO BOGDAN**

Kyiv National University of Technology and Design

INTERACTIVE CONSTRUCTION AND CORRECTION OF RATIONAL SCHEMES FOR CUTTING NATURAL MATERIALS WITH COMPLEX CONFIGURATION OF EXTERNAL CONTOURS ON DETAILS OF HABERDARD PRODUCTS

The paper considers one of the important tasks of automated design of rational schemes for cutting natural materials with a complex shape of the external contour on details of leather goods, namely the task of interactive construction and correction of rational schemes for cutting natural materials with a complex shape of the external contour on details of leather goods, designed in automatic mode.

To successfully solve this problem, a technological and mathematical formulation of this problem is given.

In the problem of interactive construction and correction of rational cutting schemes designed in automatic mode for natural materials with a complex shape of the external contour, the main structural components for the mathematical model were selected and an analytical description of each of these components was presented.

Using the analytical description of the selected structural components, algorithms for implementing this problem were proposed in a software product for interactive construction and correction of rational cutting schemes designed in automatic mode for natural materials with a complex shape of the external contour for leather goods parts.

The developed software product provides:

- input of information about the zonal contours of the natural material, defects in the material and parts of the model for which a rational cutting scheme is designed in an interactive mode;
- interactive removal of any part from the cutting scheme;

- interactive addition of an active part to the required place on the material. This ensures control over the non-intersection of the active part with the material contour, defects on the material and other parts already placed in the cutting scheme;

- determination of the percentage of material use in the designed cutting scheme;

- saving the necessary information in the file about the designed cutting scheme;

- printing the designed cutting scheme.

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 the light industry.

Keywords: cutting scheme, haberdashery, algorithm, software product, interactive adjustment, method of angles, material defects, natural material

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

У сучасній шкіргалантерейній галузі важливе значення має ефективне використання натуральних матеріалів під час розкрою. Це дозволяє досягти як економічних, так і екологічних переваг. Інтерактивна побудова та коригування схем розкрою, розроблених в автоматичному режимі, забезпечує наступні переваги:

1. *Економічне використання матеріалів.* Інтерактивний підхід до побудови раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складними зовнішніми контурами дозволяє значно зменшити кількість відходів. Оптимізація схем розкрою є як екологічно відповідальною, так і економічно вигідною.

2. *Підвищення технологічності схем розкрою.* Автоматично спроектовані схеми не завжди повністю відповідають технологічним вимогам. У інтерактивному режимі фахівець може виправити недоліки, забезпечуючи повну відповідність схем технічним стандартам.

3. *Можливість самостійного проектування схем розкрою.* Технолог може самостійно створити раціональну схему розкрою в інтерактивному режимі, враховуючи всі особливості матеріалу та вимоги до кінцевих виробів. Це підвищує гнучкість і якість виробничого процесу.

4. *Зниження собівартості виробів.* Раціональне використання матеріалів, які складають значну частину собівартості шкіргалантерейної продукції, сприяє суттєвому зменшенню витрат на виробництво. Це дозволяє компаніям бути конкурентоспроможними на ринку.

5. *Екологічна відповідальність.* Зменшення кількості відходів натуральних матеріалів сприяє зниженню забруднення навколишнього середовища. Такий підхід відповідає сучасним стандартам екологічної відповідальності та стійкого розвитку.

Тому інтерактивна побудова та коригування схем розкрою натуральних матеріалів є важливим етапом у підготовчо-розкрійних процесах шкіргалантерейної галузі. Це дозволяє покращити якість кінцевих виробів, знизити собівартість та забезпечити екологічну відповідальність. Впровадження таких методів сприяє розвитку галузі та зміцненню її позицій на ринку легкої промисловості.

Аналіз досліджень та публікацій

Задача інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї є одна із важливих задач автоматизованого проектування раціональних схем розкрою в підготовчо-розкрійному виробництві в легкій промисловості.

Є чимало робіт, в яких розглядається задача інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі взуття та шкіргалантереї [1-5]. В цих роботах для забезпечення не перетину активної деталі із деталями розкрійної схеми застосовується метод трасування променю [6]. До недоліків цих робіт можна віднести застосування не зовсім ефективних алгоритмів попереднього визначення в схемі розкрою, множини деталей, з якими можливий перетин активної деталі. Ця задача була успішно вирішена в роботі [7].

Інтерактивній побудові схем розкрою натуральних матеріалів на деталі взуття та шкіргалантерейних виробів присвячені роботи [8-9]. Недоліком цих робіт є те, що відсутня попередня перевірка не перетину активної деталлю границі натурального матеріалу.

Тому є актуальним розробка ефективного програмного продукту для інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною формою зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: розробка математичного забезпечення для інтерактивної побудови та коригування раціональних схем розкрою натуральних матеріалів на деталі галантерейних виробів та реалізація його в програмне забезпечення.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі :

– описати математичну модель та структурні компоненти задачі інтерактивної побудови та коригування раціональних схем розкрою натуральних матеріалів на деталі галантерейних виробів;

– реалізувати поставлену задачі в програмний продукт.

Виклад основного матеріалу

Постановка задач інтерактивної побудови та коригування раціональних схем розкрою натуральних матеріалів на деталі галантерейних виробів.

Технологічна постановка задач

Задача „Інтерактивна Побудова Натуральний Матеріал”. Інтерактивно побудувати раціональну схему розкрою на натуральному матеріалі зі складною конфігурацією зовнішнього контуру. При цьому забезпечити технологічні вимоги та обмеження, які необхідно врахувати при інтерактивній побудові схем розкрою (орієнтація деталей, крайовий зазор, міжмодельний місток).

Задача „Інтерактивне Коригування Натуральний Матеріал”. Інтерактивно відкоригувати вже спроектовану раціональну схему розкрою на натуральному матеріалі зі складною конфігурацією зовнішнього контуру. 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 Натуральний Матеріал”. В області Ω зі складною конфігурацією зовнішнього контуру та фігурними отворами (вадами матеріалу) $q_i, i = 1, 2, \dots, t$ розмістити k плоских геометричних об'єктів $D_p, p = 1, 2, \dots, k$ з виконанням наступних вимог розміщення:

$$\bigcup_{p=1}^k D_p \in \Omega, D_i \cap D_j = 0, i, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j, \quad (1)$$

$$\bigcup_{i=1}^t q_i \in \Omega, q_i \cap D_p = 0, i = 1, 2, \dots, t, p = 1, 2, \dots, k. \quad (2)$$

Задача „Інтерактивне Коригування Натуральний Матеріал”. В області Ω зі складною конфігурацією зовнішнього контуру та фігурними отворами (вадами матеріалу) $q_i, i = 1, 2, \dots, t$ розмістити k плоских геометричних об'єктів $D_p, p = 1, 2, \dots, k$, серед щільно розміщених плоских геометричних об'єктів $S_i, i = 1, 2, \dots, r$, для яких виконуються наступні умови щільного розміщення:

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

$$\bigcup_{i=1}^t q_i \in \Omega, q_i \cap S_j = 0, i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, r, i \neq j, \quad (4)$$

додатково розмістити k плоских геометричних об'єктів $D_p, p = 1, 2, \dots, k$ з виконанням наступних вимог розміщення:

$$\bigcup_{p=1}^k D_p \in \Omega, S \cap D_p = 0, D_i \cap D_j = 0, i, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j, \quad (5)$$

$$q_i \cap D_p = 0, i = 1, 2, \dots, t, p = 1, 2, \dots, k. \quad (6)$$

У задачах інтерактивної побудови та коригування схем розкрою натуральних матеріалів зі складною конфігурацією зовнішніх контурів на деталей шкіргалантереї структурні компоненти співпадають із структурними компонентами задач інтерактивної побудови та коригування схем розкрою рулонних матеріалів. Ці структурні компоненти детально описані в роботі [7].

Тому ми зупинимось на структурних компонентах, які відрізняються від структурних компонентів, що описані в цій роботі, а саме:

аналітичне подання конфігурації натурального матеріалу зі складною конфігурацією зовнішнього контуру;

аналітичний опис умов, які запобігають перетину деталей з краями матеріалу та вадами на матеріалі;

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 натурального матеріалу зі складною конфігурацією зовнішнього контуру. Нехай натуральний матеріал представляє область Ω зі складною конфігурацією зовнішнього контуру та фігурними отворами (вадами матеріалу) $q_i, i = 1, 2, \dots, t$. Тоді корисну площу натурального матеріалу можна представити як:

$$\Omega_0 = \Omega / \bigcup_{i=1}^t q_i. \quad (7)$$

Для опису корисної області Ω_0 натурального матеріалу необхідно аналітично описати зовнішній контур натурального матеріалу Ω та зовнішні контури фігурних отворів (вад матеріалу) $q_i, i = 1, 2, \dots, t$ (рис.1). Так як зовнішні контури натуральних матеріалів зі складною конфігурацією зовнішнього контуру та фігурні отвори на цих натуральних матеріалах (вади натуральних матеріалів) здебільшого мають складну конфігурацію зовнішнього контуру (рис. 1) і в більшості випадків ці контури не можливо описати аналітично, то ми будемо їх апроксимувати.

Для апроксимації їх зовнішніх контурів застосуємо кусково-лінійний метод апроксимації, так як він немає обмежень на зовнішні контури плоских геометричних об'єктів та дозволяє їх апроксимувати із заданою точністю. При кусково-лінійному методі апроксимації для однозначного визначення цих об'єктів достатньо задати координати вершин цих об'єктів та порядок їх обходу, тобто:

$$\Omega_0: \begin{cases} \Omega: (X_{\Omega_i}, Y_{\Omega_i}), i = 1, 2, \dots, N \\ q_i: (X_{q_i}, Y_{q_i}), i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, N_i \end{cases} \quad (8)$$

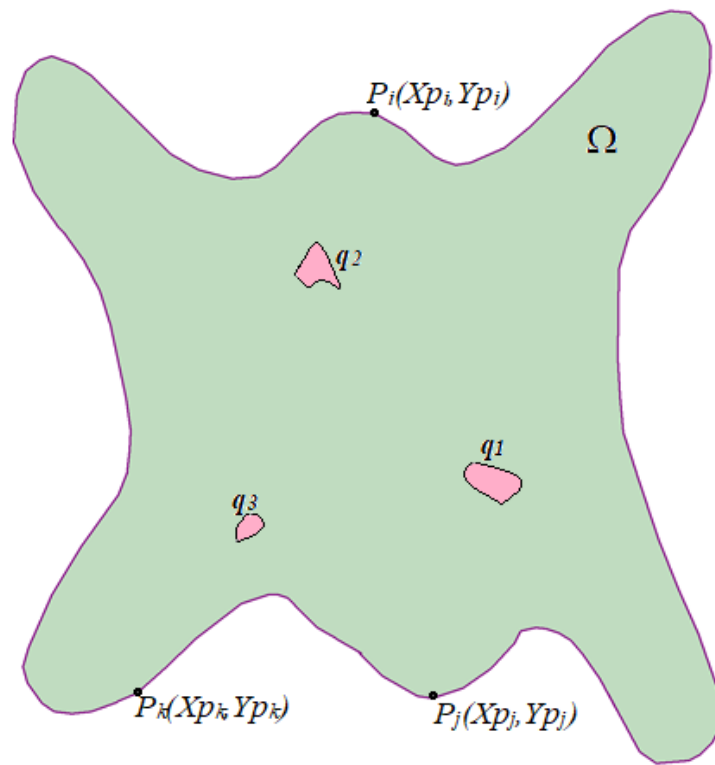


Рис.1. Зовнішній контур натурального матеріалу

Аналітичний опис умов, які запобігають перетину деталей з краями матеріалу та вадами на матеріалі. Для матеріалу визначимо наступні величини для прямокутника $A_1B_1C_1D_1$:

$$\begin{aligned} \text{Min}X_{\Omega} &= \min_{i=1,2..N} \{X_{\Omega_i}\}; \text{Min}Y_{\Omega} = \min_{i=1,2..N} \{Y_{\Omega_i}\}; \\ \text{Max}X_{\Omega} &= \max_{i=1,2..N} \{X_{\Omega_i}\}; \text{Max}Y_{\Omega} = \max_{i=1,2..N} \{Y_{\Omega_i}\}; \Leftrightarrow \\ D\ell_{\Omega} &= \text{Max}X_{\Omega} - \text{Min}X_{\Omega}; Sh_{\Omega} = \text{Max}Y_{\Omega} - \text{Min}Y_{\Omega}; \\ X_{o_{\Omega}} &= (\text{Min}X_{\Omega} + \text{Max}X_{\Omega})/2; Y_{o_{\Omega}} = (\text{Min}Y_{\Omega} + \text{Max}Y_{\Omega})/2; \end{aligned}$$

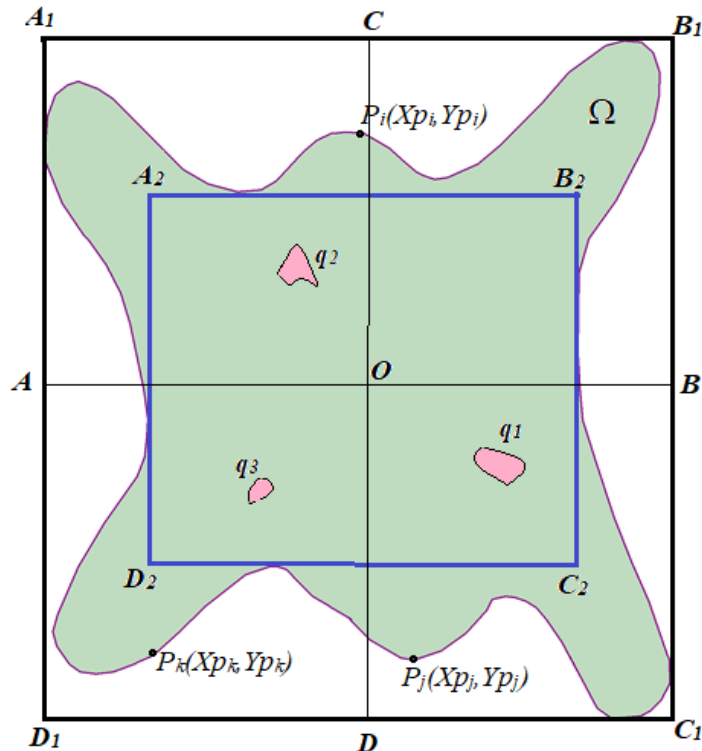


Рис.2. Зони необхідної та достатньої умов не перетину активною деталлю з границею натурального матеріалу

Деталі $D_p, p = 1, 2 \dots k$, що розміщуються на матеріалі, із-за складної конфігурації зовнішнього контуру, апроксимуються многокутниками, вершини яких однозначно визначаються масивами координат вершин $\{Xd_{pj}, Yd_{pj}\} p = 1, 2 \dots k, j = 1, 2 \dots Nd_i$. Для цих деталей визначимо наступні величини:

$$\begin{aligned} - \text{Max}X_{D_p} &= \max_{j=1,2 \dots Nd_i} \{Xd_{pj}\}; \text{Max}Y_{D_p} = \max_{j=1,2 \dots Nd_i} \{Yd_{pj}\}; \\ - \text{Min}X_{D_p} &= \min_{j=1,2 \dots Nd_i} \{Xd_{pj}\}; \text{Min}Y_{D_p} = \min_{j=1,2 \dots Nd_i} \{Yd_{pj}\}; \end{aligned}$$

Тоді необхідна умова не перетину активної деталі $D_p, p = 1, 2 \dots k$ з границею натурального матеріалу буде виконання умов наступної системи нерівностей для полюсу $Pol_p(Xpol_p, Ypol_p)$ цієї деталі:

$$\begin{cases} \text{Min}X_{\Omega} + \text{Min}X_{D_p} \leq Xpol_p \leq \text{Max}X_{\Omega} - |\text{Max}X_{D_p}|; \\ \text{Min}Y_{\Omega} + |\text{Min}Y_{D_p}| \leq Ypol_p \leq \text{Max}Y_{\Omega} - |\text{Max}Y_{D_p}| \end{cases} \quad (9)$$

Для матеріалу визначимо наступні величини для прямокутника $A_2B_2C_2D_2$:

$\text{Min}X_{right_ \Omega}$ - мінімальне значення координати X на ділянці зовнішнього контуру області Ω , яка знаходиться праворуч від прямої CD ;

$\text{Max}X_{left_ \Omega}$ - максимальне значення координати X на ділянці зовнішнього контуру області Ω , яка знаходиться праворуч від прямої CD ;

$\text{Min}Y_{up_ \Omega}$ - мінімальне значення координати Y на ділянці зовнішнього контуру області Ω , яка знаходиться вище від прямої AB ;

$\text{Max}X_{down_ \Omega}$ - максимальне значення координати Y на ділянці зовнішнього контуру області Ω , яка знаходиться нижче від прямої AB .

Тоді достатня умова не перетину активної деталі $D_p, p = 1, 2 \dots k$ з границею натурального матеріалу буде виконання умов наступної системи нерівностей для полюсу $Pol_p(Xpol_p, Ypol_p)$ цієї деталі:

$$\begin{cases} \text{Min}X_{right_ \Omega} + \text{Min}X_{D_p} \leq Xpol_p \leq \text{Max}X_{left_ \Omega} - |\text{Max}X_{D_p}|; \\ \text{Min}Y_{up_ \Omega} + |\text{Min}Y_{D_p}| \leq Ypol_p \leq \text{Max}Y_{down_ \Omega} - |\text{Max}Y_{D_p}|. \end{cases} \quad (10)$$

Аналітичне формулювання цільової функції.

Площа будь-якого многокутника, який визначається координатами його вершин $\{X_i, Y_i\} i = 1, 2 \dots n$ може бути визначена наступним чином[10]:

$$|S| = \sum_{j=1}^{n-1} |X_j \cdot Y_{j+1} - X_{j+1} \cdot Y_j| / 2 \quad (11)$$

Тоді функцією цілі для інтерактивної побудови або коригування раціональних схем розкрою натуральних матеріалів буде коефіцієнт використання матеріалу P . Він визначається наступним чином та повинен задовольняти наступній нерівності:

$$\begin{aligned} P &= \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot |Sd_i|}{S_{\Omega_0}} = \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot |Sd_i|}{S_{\Omega} - \sum_{i=1}^t S_{q_i}} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot \sum_{j=1}^{Nd_i-1} |Xd_{ij} \cdot Yd_{i,j+1} - Xd_{i,j+1} \cdot Yd_{ij}|}{\sum_{j=1}^{N-1} |X_{\Omega_j} \cdot Y_{\Omega_{j+1}} - X_{\Omega_{j+1}} \cdot Y_{\Omega_j}| - \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{Nq_i-1} |Xq_{ij} \cdot Yq_{i,j+1} - Xq_{i,j+1} \cdot Yq_{ij}|} > P_0 \end{aligned} \quad (12)$$

де $S_i, k_i, (Xs_{ij}, Ys_{ij}), i = 1, 2 \dots q, j = 1, 2 \dots Nd_i$

та P, P_0 - відповідно коефіцієнт використання матеріалу після коригування та до коригування схеми розкрою;

$|S_{\Omega}|$ - площа натурального матеріалу із врахуванням площі вад;

$|S_{\Omega_0}|$ - чиста площа натурального матеріалу із виключенням площі вад;

$|S_{q_i}|$ - площа i -ої вади на натуральному матеріалі, де $i = 1, 2 \dots t$ та t - кількість вад на матеріалі;

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

k_i - кількість деталей $D_i, i = 1, 2 \dots q$; у розкрійній схемі після інтерактивної побудови або коригування схеми розкрою;

$(X_{\Omega_i}, Y_{\Omega_i}), i = 1, 2 \dots N$ - координати вершин на зовнішньому контурі натурального матеріалу;

$(Xd_{ij}, Yd_{ij}), i = 1, 2 \dots t, j = 1, 2 \dots Nq_i$ - координати вершин на зовнішньому контурі i -ої вади на натуральному матеріалі, де t - кількість вад на натуральному матеріалі, Nq_i - кількість вершин на зовнішньому контурі i -ої вади на натуральному матеріалі;

$(Xd_{ij}, Yd_{ij}), i = 1, 2 \dots q, j = 1, 2 \dots Nd_i$ - координати вершин на зовнішньому контурі D_i -ої деталі,

де q - кількість деталей з різною формою в розкрійній схемі, Nd_i - кількість вершин на зовнішньому контурі у деталі S_i .

Результати програмної реалізації інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною формою зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї. Використавши аналітичний опис виділених структурних компонент запропоновані алгоритми реалізації цієї задачі в програмний продукт для інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною формою зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї.

На рис. 3 представлена основна форма програмного продукту, на якій відображений натуральний матеріал із вадами на ньому та представлено меню деталей, для яких необхідно спроектувати схему розкрою.

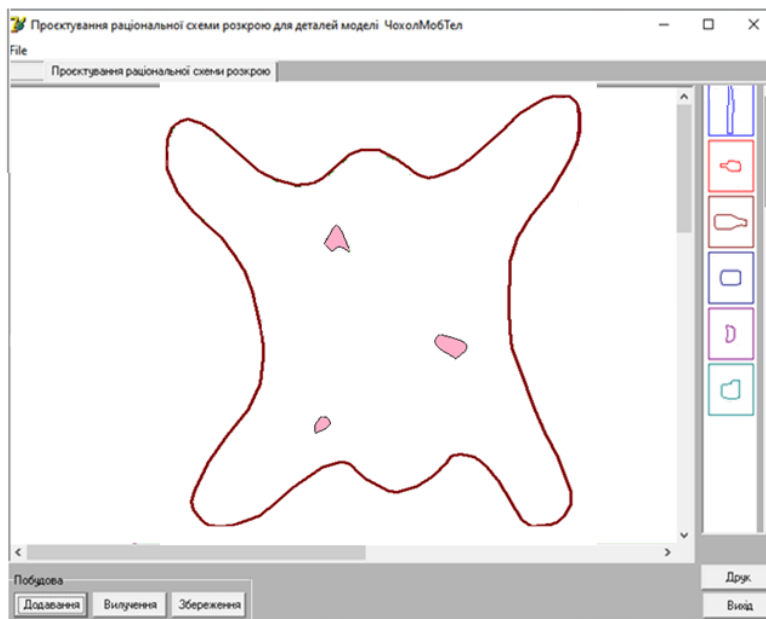


Рис. 3 . Основна форма розробленого програмного продукту

На рис. 4 представлений процес інтерактивної побудови раціональної схеми розкрою натурального матеріалу зі складною формою зовнішнього контуру для деталей шкіргалантереї.

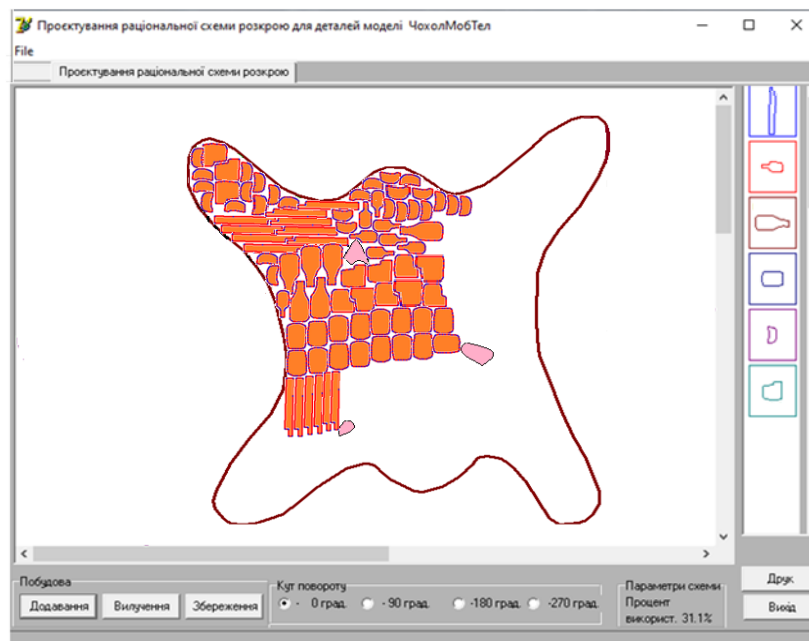


Рис. 4. Процес інтерактивної побудови раціональної схеми розкрою натурального матеріалу зі складною формою зовнішнього контуру для деталей шкіргалантереї

На рис. 5 представлена інтерактивно побудована раціональна схема розкрою натурального матеріалу зі складною формою зовнішнього контуру для деталей 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.

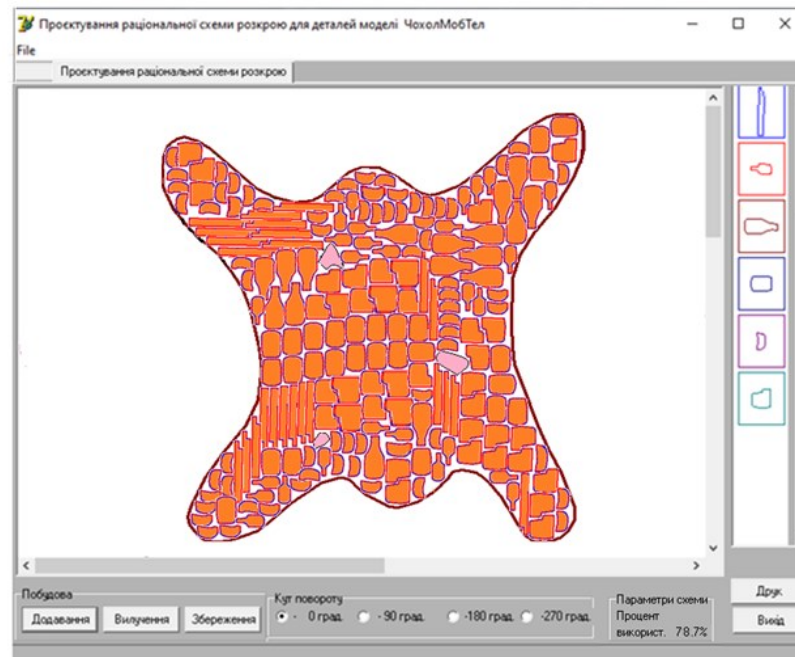


Рис. 5. Інтерактивно побудована раціональна схема розкрою натурального матеріалу зі складною формою зовнішнього контуру для деталей шкіргалантереї

Висновки з даного дослідження

В роботі дана технологічна та математична постановка задачі для інтерактивної побудови та коригування, спроєктованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною формою зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї.

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

Використавши аналітичний опис виділених структурних компонентів були запропоновані алгоритми реалізації цієї задачі в програмний продукт для інтерактивної побудови та коригування, спроєктованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною формою зовнішнього контуру 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. Gavrilov, T. Programming of the search algorithm for point belonging to the polygon and the mutual non-intersection of the figures // Technology Audit and Production Reservs. – 2017. – № 3/3(35). – С. 29–32. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.105505>.
2. Gavrilov, T. Programming of point belong to the polygon search algorithm by the condition of mutual non-intersection of details / T. Gavrilov, A. Tymoshenko // Danish Scientific Journal (DSJ). – 2021. – № 46, Vol. 1. – С. 24–28.
3. Шишкіна, О. О. Програмний комплекс для проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів на деталі взуття з урахуванням розмірного асортименту / О. О. Шишкіна, Л. Т. Свістунова // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 4. – С. 110–114.
4. Колиско, О. З. Інтерактивне коригування розкрійних схем, що побудовані в автоматичному режимі // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 1, Ч. 1. – С. 76–79.
5. Пінчук, А. В. Інтерактивна побудова та коригування вже побудованих схем розкрою / А. В. Пінчук, О. В. Чебанюк // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2009. – № 6. – С. 279–284.
6. Laszlo, M. J. Computational Geometry and Computer Graphics in C++. – Prentice Hall, 1996. – 266 p.
7. Foley, J. D. Computer Graphics: Principles and Practice / J. D. Foley, S. K. Van Dam, J. F. Hughes, A. S. Watt. – 2-e вид. – Addison-Wesley, 1990. – 1200 p.
8. Чупринка, В. І. Інтерактивне коригування спроєктованих в автоматичному режимі раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів / В. І.

Чупринка, Б. В. Науменко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2025. – № 1. – С. (немає номеру сторінки).

9. Колиско, О. З. Інтерактивна побудова схем розкрою натуральних матеріалів на деталі взуття та шкіргалантерейних виробів / О. З. Колиско, П. В. Омельченко // Вісник КНУТД. – 2010. – № 1. – С. 78–82.

10. Шкоденко, М. М. Інтерактивна побудова та коригування схем розкрою натуральних матеріалів на деталі взуття / М. М. Шкоденко, В. П. Коновал // Вісник КНУТД. – 2006. – № 1. – С. 62–67.

11. Зайцев, Є. П. Вища математика. Лінійна та векторна алгебра, аналітична геометрія, вступ до математичного аналізу. – Київ: Алерта, 574 с.

References

1. Gavrilo, T. Programming of the search algorithm for point belonging to the polygon and the mutual non-intersection of the figures // Technology Audit and Production Reser. – 2017. – № 3/3(35). – S. 29–32. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.105505>.
2. Gavrilo, T. Programming of point belong to the polygon search algorithm by the condition of mutual non-intersection of details / T. Gavrilo, A. Tymoshenko // Danish Scientific Journal (DSJ). – 2021. – № 46, Vol. 1. – S. 24–28.
3. Shyshkina, O. O. Prohramnyi kompleks dlia proektuvannia ratsionalnykh skhem rozkroiu rulonnykh materialiv na detali vzuttia z urakhuvanniam rozmirnogo asortymentu / O. O. Shyshkina, L. T. Svistunova // Herald Tekhnolohichnoho universytetu Podillia. – 2003. – № 4. – S. 110–114.
4. Kolysko, O. Z. Interaktyvne koryhuvannia rozkriinykh skhem, shcho pobudovani v avtomatychnomu rezhymy // Herald Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2006. – № 1, Ch. 1. – S. 76–79.
5. Pinchuk, A. V. Interaktyvna pobudova ta koryhuvannia vzhe pobudovanykh skhem rozkroiu / A. V. Pinchuk, O. V. Chebaniuk // Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia. – 2009. – № 6. – S. 279–284.
6. Laszlo, M. J. Computational Geometry and Computer Graphics in C++. – Prentice Hall, 1996. – 266 p.
7. Foley, J. D. Computer Graphics: Principles and Practice / J. D. Foley, S. K. Feiner, J. F. Hughes, A. Van Dam. – 2-e vyd. – Addison-Wesley, 1990. – 1200 p.
8. Chupryna, V. I. Interaktyvne koryhuvannia sproiektovanykh v avtomatychnomu rezhymy ratsionalnykh skhem rozkroiu materialiv priamokutnoi formy na detali halantereynykh vyrobiv / V. I. Chupryna, B. V. Naumenko // Herald Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2025. – № 1. – S. (nemaie nomeru storinky).
9. Kolysko, O. Z. Interaktyvna pobudova skhem rozkroiu naturalnykh materialiv na detali vzuttia ta shkirhalantereynykh vyrobiv / O. Z. Kolysko, P. V. Omelchenko // Visnyk KNUVD. – 2010. – № 1. – S. 78–82.
10. Shkodenko, M. M. Interaktyvna pobudova ta koryhuvannia skhem rozkroiu naturalnykh materialiv na detali vzuttia / M. M. Shkodenko, V. P. Konoval // Visnyk KNUVD. – 2006. – № 1. – S. 62–67.
11. Zaitsev, Ye. P. Vyshcha matematyka. Liniina ta vektorna alhebra, analitychna heometriia, vstup do matematychnoho analizu. – Kyiv: Alerta, 574 s.