

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

На правах рукопису

НАУМЕНКО БОГДАН ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 685.31.02

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМ РОЗКРОЮ МАТЕРІАЛІВ НА ДЕТАЛІ  
ШКІРГАЛАНТЕРЕЇ**

182 -Технології легкої промисловості 18 – Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Б.В. Науменко

Науковий керівник: Чупринка Віктор Іванович, доктор технічних наук,  
професор.

Київ 2025

## АНОТАЦІЯ

**Науменко Б. В. Удосконалення технології автоматизованого проектування схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї.** Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 182 – Технології легкої промисловості (галузь знань 18 – Виробництво та технології). – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2025.

Дисертація є завершеною науковою працею, яка присвячена вдосконаленню технології автоматизованого проектування схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї.

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

*1. Економічне використання матеріалів.* Такий підхід до побудови раціональних схем розкрою 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 матеріалів сприяє зниженню забруднення навколишнього середовища. Такий підхід відповідає сучасним стандартам екологічної відповідальності та стійкого розвитку.

Тому побудова схем розкрою в автоматичному режимі та інтерактивне коригування цих схем розкрою є важливим етапом у підготовчо-розкрійних процесах шкіргалантерейної галузі. Це дозволяє покращити якість кінцевої продукції, знизити собівартість та забезпечити екологічну відповідальність. Впровадження таких методів сприяє зміцненню позицій шкіргалантерейної галузі на ринку легкої промисловості.

Метою даної роботи є удосконалення технології в підготовчо-розкрійному виробництві виробів шкіргалантереї, а саме впровадження компютерних технологій для автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї.

*В задачу досліджень входять:*

- аналіз наукових досліджень з автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів для деталей виробів легкої промисловості;
- аналіз популярних CAD/CAM/CAE систем для легкої промисловості;
- підготовка інформації про зовнішні контури деталей шкіргалантереї для автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів;
- формалізація задачі автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для деталей шкіргалантереї;
- виділення основних структурних компонентів задачі автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для деталей шкіргалантереї та математичне представлення їх;

- формалізація задачі інтерактивного коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для деталей шкіргалантереї, які були спроектовані автоматизованому режимі;
- виділення основних структурних компонентів задачі інтерактивного коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для деталей шкіргалантереї, які були спроектовані автоматизованому режимі та математичне представлення їх;
- формалізація задачі інтерактивного проєктування раціональних схем розкрою для деталей шкіргалантереї на матеріалах зі складною конфігурацією зовнішнього контуру;
- виділення основних структурних компонентів задачі інтерактивного проєктування раціональних схем розкрою для деталей шкіргалантереї на матеріалах зі складною конфігурацією зовнішнього контуру та математичне представлення їх;
- розробка програмного продукту для автоматизованого проєктування розкрійних схем матеріалів на деталі шкіргалантереї.

Об'єкт дослідження - технологічний процес підготовки розкрійних схем матеріалів на деталі шкіргалантереї.

Предмет дослідження - автоматизоване проєктування схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї.

Методи дослідження теоретичні дослідження базуються на технології виробництва шкіргалантереї, математичного моделювання, теорії алгоритмів, методів аналітичної геометрії та обчислювальної математики.

Наукова новизна полягає у вдосконаленні технології автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів на деталі галантерейних виробів.

Для вирішення цієї наукової задачі були:

- запропоновані математичні постановки задач автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми та



інтерактивного проектування раціональних схем розкрою матеріалів зі складною конфігурацією зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї;

- формалізовані задачі автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми та інтерактивного проектування раціональних схем розкрою матеріалів зі складною конфігурацією зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї;

- виділені структурні компоненти цих задач та представлений математичний опис цих компонентів;

- для задачі автоматичного проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі шкіргалантереї запропоновано три етапи проектування раціональної схеми розкрою, а саме генерування множини базових елементів схеми розкрою (розкладок), із множини згенерованих розкладок генерування множини допустимих секцій, із множини згенерованих секцій генерування допустимих схем розкрою, із множини згенерованих допустимих схем розкрою вибір раціональної схеми розкрою;

- для задачі інтерактивного коригування та проектування раціональних схем матеріалів забезпечено не перетин активної деталі із деталями в схемі розкрою та не перетин цієї деталі з границею матеріалу та вилучення будь-якої деталі із схеми розкрою;

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- запропоновані параметричні базових деталей шкіргалантереї на основі яких розроблено програмний продукт для автоматизованого проектування цих деталей;

- усі розглянуті математичні моделі та алгоритми реалізовані в систему автоматизованого проектування схем розкрою, яка є відкритою для подальшого розширення. Вона може працювати, використовуючи інформацію від систем автоматизованого проектування виробів шкіргалантереї або із самостійно підготовленою інформацією про зовнішні контури деталей;

- при незначних змінах система може бути використана в інших галузях промисловості;

- запропоновані алгоритми використовуються при розв'язуванні задач, що пов'язані з комп'ютерною графікою, а також в учбовому процесі спеціальності «Комп'ютерні науки».

Застосування розроблених програмних продуктів у підготовчо-розкрійному виробництві прискорить проєктування раціональних схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї, зменшити відходи матеріалу при розкрої та впровадити автоматизовані розкрійні комплекси у виробництво.

Положення та найвагоміші результати за темою дисертаційної роботи опубліковано у 13 наукових роботах, серед них одна стаття, яка входить до бази даних Scopus, 5 статей у фахових виданнях України категорії Б, 3 авторські права на твір, 4 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях (серед них 3 за кордоном).

Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи із висновками, загальні висновки досліджень, список використаних джерел, додатки.

**Ключові слова:** *раціональний розкрій, схеми розкрою, галантерейні вироби, алгоритм, математичне забезпечення, програмне забезпечення, візуалізація, шкіра, дизайн, штучний матеріал, натуральний матеріал, 2D технології, прототипування, сегментація*

## ABSTRACT

**Naumenko B. V. Improvement of the Technology for Automated Design of Material Cutting Layouts for Leather Goods Components.** Qualification research work submitted in manuscript form.

Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 182 – Light Industry Technologies (Field of Knowledge 18 – Production and Technologies). – Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, 2025.

The dissertation is a completed scientific study dedicated to the improvement of the technology for automated design of material cutting layouts for leather goods components.

In the modern leather goods industry, the efficient utilization of materials during the cutting process holds significant importance, as it contributes to both economic and environmental benefits. The automated generation of cutting layouts, along with their interactive adjustment, offers the following advantages:

1. *Economic use of materials.* This approach to constructing rational cutting layouts significantly reduces material waste. The optimization of cutting schemes is both environmentally responsible and economically advantageous.

2. *Enhancement of cutting layout manufacturability.* Automatically generated layouts do not always fully comply with technological requirements. In interactive mode, a specialist can correct deficiencies, ensuring full conformity of the layouts with technical standards.

3. *Capability for manual design of cutting layouts.* The technologist can independently develop a rational cutting layout in interactive mode, taking into account all material characteristics and requirements for the final products. This enhances both the flexibility and quality of the production process.

4. *Reduction of product cost.* The rational use of materials—which constitute a significant portion of the production cost of leather goods—contributes to a substantial

decrease in manufacturing expenses. This enables companies to maintain competitiveness in the market.

5. *Environmental responsibility.* Reducing material waste contributes to the mitigation of environmental pollution. This approach aligns with contemporary standards of ecological responsibility and sustainable development.

Therefore, the automated generation of cutting layouts and their interactive adjustment represent a critical stage in the preparatory and cutting processes of the leather goods industry. This approach enhances the quality of the final products, reduces production costs, and ensures environmental responsibility. The implementation of such methods contributes to strengthening the competitiveness of the leather goods sector within the light industry market.

The aim of this study is to improve the technology used in the preparatory and cutting stages of leather goods manufacturing, specifically through the implementation of computer technologies for the automated design of rational material cutting layouts for leather goods components.

*The research objectives include:*

- Analysis of scientific studies on the automated design of rational cutting layouts for components of light industry products;
- Review of widely used CAD/CAM/CAE systems applicable to the light industry;
- Preparation of data regarding the outer contours of leather goods components for use in the automated design of rational cutting layouts;
- Formalization of the problem of automated design of rational rectangular material cutting layouts for leather goods components;
- Identification of the main structural components of the problem of automated design of rational rectangular material cutting layouts for leather goods components and their mathematical representation;

- Formalization of the problem of interactive adjustment of rational rectangular cutting layouts for leather goods components that were initially generated in automated mode;
- Identification of the main structural components of the problem of interactive design of rational cutting layouts for leather goods components on materials with complex outer contour configurations, and their mathematical representation;
- Development of a software solution for the automated design of material cutting layouts for leather goods components.

Object of the research – the technological process of preparing material cutting layouts for leather goods components.

Subject of the research – automated design of material cutting layouts for leather goods components.

*Research methods.* The theoretical investigations are based on leather goods manufacturing technology, mathematical modeling, algorithm theory, methods of analytical geometry, and computational mathematics.

*Scientific novelty.* The scientific novelty lies in the enhancement of the technology for automated design of rational material cutting layouts for components of leather goods.

To address this scientific problem, the following contributions were made:

- Mathematical formulations were proposed for the problems of automated design of rational cutting layouts for rectangular materials and interactive design of rational layouts for materials with complex outer contour configurations for leather goods components;
- The problems of automated design for rectangular materials and interactive design for complex-contour materials were formalized with respect to leather goods manufacturing;
- The structural components of these problems were identified and mathematically described;

- For the problem of automated design of rational cutting layouts from rectangular materials, a three-stage design approach was proposed: generation of a set of basic layout elements (placements), generation of a set of admissible sections from these placements, and generation of admissible cutting layouts from these sections, followed by the selection of the optimal rational layout from the set of admissible ones;

- For the tasks of interactive correction and design of rational cutting layouts, constraints were introduced to ensure no intersection of the active component with other components in the layout, no intersection with the boundary of the material and the ability to remove any component from the layout.

*Practical significance of the obtained results* is as follows:

- Parametric models of basic leather goods components were proposed, serving as the foundation for the development of a software product for their automated design;
- All considered mathematical models and algorithms were implemented in a computer-aided design system for cutting layouts, which is open for further extension. The system can operate using data from existing CAD systems for leather goods or independently prepared data on the external contours of components;
- With minor modifications, the system can be adapted for use in other industrial sectors;
- The proposed algorithms are applicable to solving problems in computer graphics and are also integrated into the educational process within the "Computer Science" specialty.

The application of the developed software products in the preparatory and cutting stages of production will accelerate the design of rational material cutting layouts for leather goods components, reduce material waste during cutting, and facilitate the integration of automated cutting systems into the manufacturing process.

The key findings and most significant results of the dissertation research have been published in 13 scientific works, including 1 article indexed in the Scopus database, 5

articles in Ukrainian professional journals of category B, 3 registered copyrights, and 4 conference abstracts presented at international scientific conferences (including 3 abroad).

The dissertation consists of an introduction, four chapters with conclusions, general research conclusions, a list of references, and appendices.

**Keywords:** rational cutting, cutting schemes, haberdashery, algorithm, mathematical software, software, visualization, leather, design, artificial material, natural material, 2D technologies, prototyping, segmentation

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:**

### **Опубліковані статті, які входять до міжнародної науко-метричної бази даних Scopus:**

1. Chuprynka, V., Demkivska, T., Chuprynka, N., Demkivskyi, I., & Naumenko, B. (2023). Development of informational-technological support for designing cutting diagrams of haberdashery parts . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(1 (124), 118–124

### **Опубліковані статті у фахових виданнях України:**

2. Чупринка В.І. Підготовка інформації про зовнішні контури плоских геометричних об'єктів для ефективного автоматизованого проектування раціональних схем розкрою / В.І. Чупринка, О.Л. Василенко, Н.В. Чупринка, Б.В. Науменко //Технології та інжиніринг, № 4(9), 2022. С.48-59.

3. Чупринка В.І. Автоматизоване проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів / В.І. Чупринка, Б.В. Науменко, Н.В. Чупринка //Вісник ХНУ. Технічні науки, № 4, 2024. С.207-215.

4. Чупринка В.І. Генерування допустимої множини розкладок для автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів / В.І. Чупринка, Б.В. Науменко, В.В. Осипенко //Вісник ХНУ. Технічні науки, № 5, 2024. С. 101-108

5. Чупринка В.І. Інтерактивне коригування спроектованих в автоматичному режимі раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів / В.І. Чупринка, Б.В. Науменко //Вісник ХНУ. Технічні науки, № 1, 2025, С. 263-272

6. Чупринка В.І. Інтерактивна побудова та коригування раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною конфігурацією зовнішніх контурів на



деталі галантерейних виробів/ Чупринка, Б.В Наumenко //Вісник ХНУ. Технічні науки, № 2, 2025 С. 466-473

### **Документи, які підтверджують новизну дослідження:**

7. Інтерактивне проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів: Комп'ютерна програма / В.І. Чупринка; Н.В. Чупринка; Б.В. Наumenко; свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №133098 від 04.02.25. – Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій.

8. Інтерактивне проектування раціональних схем розкрою шкір: Комп'ютерна програма / В.І. Чупринка; Н.В. Чупринка; Б.В. Наumenко; свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №133232 від 06.02.25. – Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій.

9. Генерація та оптимізація розкрою деталей: Комп'ютерна програма / Б.В. Наumenко; свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №133078 від 04.02.25. – Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій.

### **Наукові праці апробованих результатів дисертації:**

10. Chuprynka V. I. Algorithm for finding rotation angles  $\alpha$  and  $\beta$ , respectively, for stationary and moving flat geometric objects when constructing dens stacks of these objects / V. I Chuprynka., N. V Chuprynka., B. V. Naumenko, O. L.Vasylenko // Innovations and prospects in modern science. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2023. Pp. 40-46.

11. Chuprynka V. I. Optimizing the movement of the cutting toolin automatic cutting with water jet or lazer beam / V. I Chuprynka., N. V Chuprynka., B. V. Naumenko, Vasylenko O. L. // European scientific congress. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Madrid, Spain. 2023. Pp. 58-64.

12. Chuprynka V. I. Construction of lattice packing of two flat geometric object with different configuration of the external contour / V. I Chuprynka., N. V Chuprynka., B. V. Naumenko, Vasylenko O. L. // Progressive research in the modern world. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Boston, USA. 2023. Pp. 21-27.

13. Chuprynka V. I, Chuprynka N. V, Naumenko B.V Method for generation of rational schemes for cutting roll materials on details of leather goods. Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві. Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри комп'ютерних наук Київ. 2023. Рр 176-178.

## Зміст

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                                                                                                                                | 19 |
| 1.Сучасний стан автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів в легкій промисловості .....                                                                           | 24 |
| 1.1. Огляд проблеми створення двовимірних схем розкрою .....                                                                                                                              | 24 |
| 1.2. Огляд систем автоматизованого проектування в легкій промисловості .....                                                                                                              | 26 |
| 1.3. Огляд систем розкрою шкіри в легкій промисловості.....                                                                                                                               | 44 |
| Висновки першого розділу та ключові завдання дослідження.....                                                                                                                             | 48 |
| 2. Автоматизована підготовка інформації про зовнішні контури деталей шкіргалантереї.....                                                                                                  | 50 |
| 2.1 Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі прямокутника .....                                                                                 | 50 |
| 2.1.1. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі прямокутника та спряженням будь-якого кута цього прямокутника дугою кола заданого радіусу ..... | 50 |
| 2.1.2. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти $h$ .....                               | 52 |
| 2.2 Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі трапеції .....                                                                                     | 59 |

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів на основі рівнобедреної трапеції та спряженням кутів цієї трапеції дугою кола заданого радіусу ..... | 59 |
| 2.1.2. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента.....                  | 63 |
| 2.2.3. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів на основі прямокутної трапеції та спряженням кутів цієї трапеції дугою кола заданого радіусу .....   | 69 |
| 2.3. Структурна схема автоматизованої підготовки інформації про зовнішні контури деталей шкіргалантереї .....                                                 | 71 |
| Висновки до другого розділу.....                                                                                                                              | 77 |
| 3. Проєктування схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів.....                                                                | 78 |
| 3.1. Постановка задачі автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів.....              | 78 |
| 3.2. Структурні компоненти задачі проєктування схем розкрою матеріалів, що мають прямокутну форму, на галантерейні деталі..                                   | 80 |
| 3.2.1. Задача «розкладка».....                                                                                                                                | 80 |
| 3.2.2. Задача «секція».....                                                                                                                                   | 99 |

|                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3. Генерування множини допустимих схем розкрою матеріалів, що мають прямокутну форму, на галантерейні деталі. ....                                                                            | 106 |
| Висновки до третього розділу.....                                                                                                                                                               | 110 |
| 4. Інтерактивна побудова та коригування побудованих розкрійних схем .....                                                                                                                       | 111 |
| 4.1. Постановка задачі інтерактивної побудови та коригування побудованих розкрійних схем матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів.....                                      | 111 |
| 4.2. Ключові структурні елементи задачі інтерактивного формування та редагування схем розкрою матеріалів прямокутної конфігурації на складові частини галантерейних виробів.....                | 112 |
| 4.3. Постановка задачі інтерактивної побудови та коригування раціональних схем розкрою натуральних матеріалів на деталі галантерейних виробів.....                                              | 123 |
| 4.4. Основні структурні компоненти задачі інтерактивної побудови та коригування схем розкрою натуральних матеріалів зі складною конфігурацією зовнішніх контурів на деталей шкіргалантереї..... | 124 |
| Висновки до четвертого розділу .....                                                                                                                                                            | 130 |
| Загальні висновки.....                                                                                                                                                                          | 131 |
| Список джерел.....                                                                                                                                                                              | 133 |
| Додатки.....                                                                                                                                                                                    | 145 |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <i>Додаток А</i> ..... | <i>145</i> |
| <i>Додаток Б</i> ..... | <i>147</i> |
| <i>Додаток В</i> ..... | <i>150</i> |
| <i>Додаток Г</i> ..... | <i>159</i> |
| <i>Додаток Д</i> ..... | <i>174</i> |
| <i>Додаток Е</i> ..... | <i>181</i> |
| <i>Додаток Є</i> ..... | <i>182</i> |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасній шкіргалантерейній галузі важливе значення має ефективне використання матеріалів під час розкрою. Це дозволяє досягти як економічних, так і екологічних переваг. Побудова схем розкрою в автоматичному режимі та інтерактивне коригування цих схем розкрою, забезпечує наступні переваги:

*1. Економічне використання матеріалів.* Такий підхід до побудови раціональних схем розкрою 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 матеріалів сприяє зниженню забруднення навколишнього середовища. Такий підхід відповідає сучасним стандартам екологічної відповідальності та стійкого розвитку.

Тому побудова схем розкрою в автоматичному режимі та інтерактивне коригування цих схем розкрою є важливим етапом у підготовчо-розкрійних процесах шкіргалантерейної галузі. Це дозволяє покращити якість кінцевої

продукції, знизити собівартість та забезпечити екологічну відповідальність. Впровадження таких методів сприяє зміцненню позицій шкіргалантерейної галузі на ринку легкої промисловості.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрах «Комп'ютерних наук» та «Технології моди» КНУТД протягом 2021 - 2025 років відповідно комплексної програми науково-технічного розвитку галузей легкої промисловості, до тематичного плану НДДКР Міністерства освіти і науки України та ініціативної тематики за темою: «Удосконалення технології автоматизованого проектування схем розкрою рулонних матеріалів на деталі шкіргалантереї» (05.2022, реєстраційний номер 0122U002596).

**Мета та задачі дослідження.** Метою даної роботи є удосконалення технології в підготовчо-розкрійному виробництві виробів шкіргалантереї, а саме впровадження компютерних технологій для автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї.

В задачу досліджень входять:

- аналіз наукових досліджень з автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів для деталей виробів легкої промисловості;
- аналіз популярних CAD/CAM/CAE систем для легкої промисловості;
- підготовка інформації про зовнішні контури деталей шкіргалантереї для автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів;
- формалізація задачі автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для деталей шкіргалантереї;
- виділення основних структурних компонентів задачі автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для деталей шкіргалантереї та математичне представлення їх;
- формалізація задачі інтерактивного коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для деталей шкіргалантереї, які були спроектовані автоматизованому режимі;



- виділення основних структурних компонентів задачі інтерактивного коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для деталей шкіргалантереї, які були спроектовані автоматизованому режимі та математичне представлення їх;

- формалізація задачі інтерактивного проєктування раціональних схем розкрою для деталей шкіргалантереї на матеріалах зі складною конфігурацією зовнішнього контуру;

- виділення основних структурних компонентів задачі інтерактивного проєктування раціональних схем розкрою для деталей шкіргалантереї на матеріалах зі складною конфігурацією зовнішнього контуру та математичне представлення їх;

- розробка програмного продукту для автоматизованого проєктування розкрійних схем матеріалів на деталі шкіргалантереї.

**Об’єкт досліджень:** технологічний процес підготовки розкрійних схем матеріалів на деталі шкіргалантереї.

**Предмет досліджень:** автоматизоване проєктування схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї.

**Методи досліджень:** теоретичні дослідження базуються на технології виробництва шкіргалантереї, математичного моделювання, теорії алгоритмів, методів аналітичної геометрії та обчислювальної математики.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у вдосконаленні технології автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів на деталі галантерейних виробів.

Для вирішення цієї наукової задачі були:

- запропоновані математичні постановки задач автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми та інтерактивного проєктування раціональних схем розкрою матеріалів зі складною конфігурацією зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї;

- формалізовані задачі автоматизованого проєкування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми та інтерактивного проєкування раціональних схем розкрою матеріалів зі складною конфігурацією зовнішнього контуру на деталі шкіргалантереї;

- виділені структурні компоненти цих задач та представлений математичний опис цих компонентів;

- запропоновані методи реалізації цих задач.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в наступному:

- запропоновані параметричні базових деталей шкіргалантереї на основі яких розроблено програмний продукт для автоматизованого проєкування цих деталей;

- запропоновані алгоритми, які дозволили поставлені задачі реалізувати в програмні продукти автоматизованого проєкування раціональних схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї.

Застосування розроблених програмних продуктів у підготовчо-розкрійному виробництві прискорить проєкування раціональних схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї, зменшити відходи матеріалу при розкрої та впровадити автоматизовані розкрійні комплекси у виробництво.

**Особистий внесок здобувача** полягає у виборі теми дослідження, постановці мети та вирішенні основних задач, формулюванні наукової новизни, плануванні експериментальних досліджень та аналізі отриманих даних, розробленні математичних моделей, апробації проведених результатів досліджень, узагальненні та формулюванні висновків роботи. Наукові ідеї дисертаційної роботи та отримані результати, що виносяться на захист, особисто одержані автором.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні й експериментальні положення, результати роботи були повідомлені та отримали позитивну оцінку на міжнародних науково-практичних конференціях протягом 2021-2024 років, а саме:

- на VI Міжнародній науково-практичній конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion, м. Київ, 21 жовтня 2022 р.

- на VI-VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Мехатронні системи: інновації та інжиніринг» – «MSIE-2022-2024»;
- на II Міжнародній науково-практичній конференції «Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні регіонів України», м. Одеса, 24- 26 квітня 2024 року;
- of VII International Scientific and Practical Conference “INNOVATIONS AND PROSPECTS IN MODERN SCIENCE”, Stockholm, Sweden 3-5 July 2023
- of VI International Scientific and Practical Conference “EUROPEAN SCIENTIFIC CONGRESS”, Madrid, Spain 10-12 July 2023
- of XI International Scientific and Practical Conference “PROGRESSIVE RESEARCH IN THE MODERN WORLD”, Boston, USA 20-22 July 2023

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи «Удосконалення технології автоматизованого проектування схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї» опубліковано у 13 наукових роботах, серед них одна стаття, яка входить до бази даних Scopus, 5 статей у фахових виданнях України категорії Б, 3 авторські права на твір, 4 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях (серед них 3 за кордоном).

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи із висновками, загальні висновки досліджень, список використаних джерел, додатки. Загальний обсяг дисертації становить 184 сторінки, у тому числі 68 рисунків, 93 формули. Список використаних джерел становить 121 позицію. Додатки займають обсяг 37 сторінок.

## **1.СУЧАСНИЙ СТАН АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ РОЗКРОЮ МАТЕРІАЛІВ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Важливим етапом у підвищенні продуктивності праці стала механізація, яка передбачала заміну фізичної праці людини роботою машин і механізмів. Ці пристрої можуть бути як простими знаряддями праці, так і складними системами. Характерною особливістю засобів механізації є відсутність здатності приймати самостійні рішення — усі дії в таких системах ініціюються виключно діями людини. Механізація стала однією з основних передумов промислової революції в суспільстві.

### **1.1. Огляд проблеми створення двовимірних схем розкрою**

Загальні проблеми втрат стосуються оптимального розподілу різних ресурсів, таких як час, простір, капітал, вартість і завдання. Оптимізація макета або упаковки в основному призначена для оптимального розподілу просторових ресурсів [1], [80- 86]. Кінцевою метою оптимізації проблеми різання та комбінування є максимізація використання листового матеріалу або мінімізація кількості листового матеріалу, що залишився [95-101].

Критерії оцінки продуктивності алгоритмів комбінування включають використання матеріалу (або швидкість заповнення) і витрати часу на обчислення [70-73]. Для рулонних матеріалів коефіцієнт використання матеріалу в основному відображається кінцевим значенням висоти після завершення пакування. Оскільки немає обмежень щодо позиції, деталь можна розмістити будь-де на основній поверхні під будь-яким кутом, і одна партія деталей може мати кілька замовлень, простір для вирішення проблеми 2D нерегулярного пакування дуже великий [74- 79]. Таким чином, проблема упаковки є NP-повною [2] (NP-C) проблемою [3 - 4]; тобто не існує ефективного поліноміального алгоритму, який міг би ідентифікувати оптимальне рішення за поліноміальний час. Для вирішення

подібних задач є пошук наближеного оптимального рішення за допомогою евристичного алгоритму.

Відповідно до правильності форм заготовок, що беруть участь в схемі розкрою, проблему двовимірного упакування можна далі розділити на двовимірні правильні і неправильні проблеми упакування [56], [57]. Проблема двовимірного правильного пакування включає проблему компоновання правильних багатокутників, таких як прямокутники [5][6] та кола [7][8]. Проблема двовимірної неправильної схеми розкрою в основному включає компоновання заготовок неправильних форм [9][10].

Дві фази беруть участь у вирішенні проблеми неправильного пакування: фаза оптимізації та фаза розміщення [58][59]. На етапі оптимізації шукається послідовність упаковки, яка мінімізує відходи сировини, а на етапі розміщення визначається остаточне рішення форми [11][87-92]. Алгоритм оптимізації розміщення використовується для вирішення проблеми взаємної відповідності між частинами, кінцевою метою є пошук найкращої стратегії та зменшення розриву розміщення для збільшення рівня використання матеріалу [60][61]. Кінцевою метою алгоритму послідовної оптимізації є знаходження оптимального порядку розміщення для партії деталей [12][93-94].

Проблема двовимірного неправильного пакування створює кілька підпроблем, але двома основними підпроблемами є геометрична проблема форми та оптимізація послідовності розміщення [13][62][63].

Щоб покращити вирішення задачі двовимірної упаковки деталей неправильної форми, дослідники наприкінці 1970-х років почали вивчати особливості контуру самих деталей неправильної форми. Вони досліджували способи підібрати контури предметів. У той час був запропонований метод *no-fit polygon* (NFP). NFP є ефективним засобом вирішення проблем 2D упаковки [14][15]. Короткий опис методу NFP такий: задано два багатокутники, один з яких фіксований, інший багатокутник здійснює неповоротний рух навколо фіксованого

багатокутника та ковзає навколо фіксованого багатокутника, поки не повернеться до початкове положення, у процесі руху, коли точка обрана як опорна точка на багатокутнику, траєкторія, утворена опорною точкою під час кругового руху, називається полігоном без відповідності (no-fit polygon) [65][66]. Метод NFP є популярним методом, який використовується для обчислення області, в якій жодні дві фігури не перекриватимуться, і в якій можна знайти всі можливі позиції відповідності між двома фігурами. Метод NFP забезпечує найкраще положення розташування, знаходячи всі відносні положення двох фігур у різних позах, що забезпечує точне рішення. Незважаючи на те, що метод NFP є ефективним у вирішенні проблем двовимірного пакування, він також має наступні два обмеження:

1) Метод NFP вимагає багаторазового обертання деталі під час пошуку оптимальної позиції розміщення, що призводить до збільшення часу обчислення та навіть пропуску оптимальне положення розміщення. Деякі вчені запропонували використовувати метод NFP у поєднанні з вільним обертанням для макета [16][17], але він застосовувався лише в дуже простому наборі даних, і не підходить для застосування в реальних задачах по розкладці деталей.

2) Дуже складно застосовувати NFP метод для неопуклих багатокутників, особливо з деформованими контурами. Метод NFP також має ще одну проблему для двовимірного макета довільної форми. Він використовує вершини фігури для визначення відносного положення між фігурами, що зменшує швидкість заповнення.

Підсумовуючи, суттєвим недоліком підходу NFP є нетривіальне завдання розробки надійного генератора NFP для загальних неопуклих багатокутників.

## **1.2. Огляд систем автоматизованого проектування в легкій промисловості**

Для того, щоб вижити, вітчизняне підприємництво має шукати нові шляхи досягнення світових стандартів конкурентоспроможності продукції, адаптувати та

освоювати їх. Одним із таких методів є впровадження високих технологій (Hi-Tech) в інноваційну діяльність підприємства. Використання сучасних технологій дасть можливість пов'язати між собою проектування і виробництво, що дозволить скоротити час і вартість розробки та випуску продукції. Також це дозволить ефективніше оперувати доступними ресурсами, наприклад сировина для продукції, зменшити кількість відходів. З цією метою і використовують технології автоматизованого проектування.

Автоматизація проектування передбачає такий підхід до розробки проекту, за якого інженер або конструктор взаємодіє з персональним комп'ютером (ПК) для виконання процедур і операцій проектування.

**Система автоматизованого проектування (САПР)** являє собою комплекс, що об'єднує користувача (інженера, конструктора або технолога) та засоби автоматизації. До складу системи входять технічне обладнання (ПК), програмне, математичне, інформаційне, лінгвістичне, методичне й організаційне забезпечення [18].

Існують два основні підходи до проектування: **автоматизований** [19] та **автоматичний** [20].

- **автоматизоване проектування** — це процес, у якому перетворення описів об'єкта, алгоритмів його функціонування та представлення інформації різними мовами виконуються за активної взаємодії між людиною та комп'ютером.
- **автоматичне проектування** виключає участь людини, оскільки всі перетворення здійснюються комп'ютером автономно.

Сучасний розвиток систем автоматизованого проектування (САПР) базується на потужній науково-технічній основі, яка включає:

- різнорівневу комп'ютерну техніку, зокрема мікро-ЕОМ, міні-ЕОМ, персональні комп'ютери, обчислювальні системи та розподілені мережі.
- інноваційні методи подання й аналізу даних, засновані на принципах штучного інтелекту.

- чисельні методи, що застосовуються для оптимізації та вирішення складних інженерних завдань.

На сучасному ринку САПР представлено широкий вибір програмного забезпечення для виконання проєктних робіт за допомогою ПК. Ці програмні продукти класифікуються за рівнями залежно від їх функціональних можливостей.

Саме поняття САПР не є новим. Спочатку використаний Дугласом Т. Россом [21] термін «комп'ютерне проектування» був введений на початку 1950-х років. Росс, дослідник Массачусетського технологічного інституту (MIT), працював із військовими радарними технологіями та комп'ютерними системами відображення. Росс працював над проєктами, які започаткували ранню технологію САПР, наприклад, автоматично програмовані інструменти (APT), що призвело до створення AED (автоматизоване інженерне проектування). Росс проводив конференції в Массачусетському технологічному інституті, щоб обговорити нові технології з іншими ранніми практиками в галузі.

Одне з перших застосувань того, що можна назвати CAD, було розгорнуто Патріком Ханратті [22] в дослідницьких лабораторіях General Motors. Ханратті розробив Design Automated by Computer (DAC), яка вважається першою системою САПР, що включає інтерактивну графіку. Це була перша комерційна система програмного забезпечення CAD/CAM, яка включала інструмент програмування з числовим керуванням під назвою PRONTO, який він розробив у 1957 році. Тому Ханратті часто називають «батьком CAD/CAM». Перше справжнє програмне забезпечення САПР називалося Sketchpad, розроблене Іваном Сазерлендом на початку 1960-х років як частину його докторської дисертації в MIT (Массачусетський технологічний інститут) [23]. Sketchpad був особливо інноваційним програмним забезпеченням САПР, оскільки дизайнер взаємодіяв із комп'ютером графічно, використовуючи світлове перо для малювання на моніторі комп'ютера.



Сазерленд був глибоко натхненний ідеєю Memex, запропонованою Ванневаром Бушем у статті «Як ми можемо думати» ("As We May Think"), опублікованій у літньому випуску журналу *The Atlantic Monthly* у 1945 році [24]. Комп'ютеризоване виробництво також було розроблено в 1950-х роках, коли комп'ютери використовувалися для створення G-коду, який, у свою чергу, був перетворений на перфокарти, які могли керувати машинами. Перфострічки вироблялися за допомогою комп'ютерного керування, що могло пришвидшити як створення, так і виготовлення інструкцій. Інструменти та машини, керовані цими кодами, різні, від плазмових різаків до водоструминних.

Найперші комерційні застосування CAM лежать в автомобільній та аерокосмічній промисловості [25]. CAD і CAM об'єдналися, коли CAM використовувала креслення CAD для створення своїх інструкцій або шляхів інструментів для керування автоматизованими верстатами. Згодом ці інструменти могли створювати фізичні елементи безпосередньо з файлів дизайну.

У 1966-1968 роках П'єр Без'є створив новаторську 3D-систему CAD/CAM поверхні [26], UNISURF, працюючи на французького виробника автомобілів Renault. Його винахід був розроблений, щоб допомогти в проектуванні та оснащенні автомобілів шляхом інтеграції креслярських машин, комп'ютерного керування, інтерактивних кривих довільної форми, дизайну поверхні та 3D-фрезерування для виготовлення глиняних моделей і майстер-класів [27].

У 1970 році Ханратті [28] заснував власну компанію ICS із власною системою креслення CAD/CAM. Бізнес був невдалим, оскільки система працювала на комп'ютері, який не використовувався широко й не був доступним для масового ринку. Однак наступного року він заснував Manufacturing and Consulting Services (MCS), яка створила Automated Drafting and Machinery (ADAM). Кажуть, що близько 90% сучасних комерційних креслень можуть простежити своє коріння до цього продукту.

CATIA (багатоплатформний пакет для CAD, CAM і автоматизованого проектування) вперше був представлений у 1977 році [29], а в 1981 році IBM представила свій перший доступний настільний комп'ютер. Збільшення доступу до технологій мало величезний вплив на потенціал, розповсюдження та розвиток систем і процесів CAD/CAM, оскільки все більше компаній застосовували ці процеси.

У 1982 році Джон Вокер [30] заснував компанію Autodesk, яка того ж року випустила програмне забезпечення САПР (AutoCAD) для ПК. Через три роки програмне забезпечення розширилося до 3D-моделювання, а в 1992 році AutoCAD став доступним для Windows. До 2007 року Autodesk продала вісім мільйонів копій, що зробило її лідером у галузі.

Іншим важливим поворотним моментом для CAD і CAM став перехід від UNIX до ПК у 1990-х роках, що зробило цей процес доступним для мільйонів інженерів, а також для звичайних споживачів, які раніше не могли дозволити собі програмне забезпечення [31]. У міру розвитку CAD/CAM цей метод став прийнятий у багатьох галузях промисловості. Приклади включають аерокосмічне виробництво, в якому CAD/CAM використовується для підготовки та деталізації кожного аспекту виробництва, щоб уникнути помилок у галузі, де мікрони мають значення. Цифрові проекти, створені за допомогою програмного забезпечення САПР, регулярно використовуються в дизайні, допомагаючи втілювати ідеї в життя.

Спочатку концептуалізуючи свої проекти, модельєри використовують програми 2D CAD. САПР корисна в багатьох сферах дизайну одягу, від масового ринку до високої моди. Завдяки таким функціям, як створення викрійки, віртуальна тестова примірка, сортування викрійки, створення маркерів тощо, програми САПР стали незамінним інструментом для модельєрів, виробників одягу, експортних компаній тощо [32].

Використовуючи систему CAD, виробники одягу значно скоротили час виробництва [31]. Крім того, САПР дозволяє дизайнерам бачити проекти одягу на віртуальних фігурах різних кольорів і форм, заощаджуючи час, зменшуючи потребу в подальшому перегляді прототипів і зразків.

Для роботи стандартної системи САПР на вашому комп'ютері потрібно інсталювати програмний пакет САПР і, іноді, відеокарту. Графічне ядро — це мозок програми САПР. Графічний інтерфейс користувача (GUI) є ще одним важливим компонентом програмного забезпечення САПР. Графічний інтерфейс користувача використовується для відображення геометрії САПР і збору даних, введених користувачем. Розробка комп'ютерних моделей із геометричними обмеженнями відома як система автоматизованого проектування (CAD). Ці моделі часто забезпечують тривимірне представлення компонента або всієї системи на екрані комп'ютера.

Розробники можуть легко модифікувати модель, змінюючи відповідні параметри, що полегшує життя дизайнерам та інженерам. Це означає, що характеристики та зв'язки, які ми вводимо в геометрію, форму та розмір, контролюються. Якщо ви використовуєте суцільне геометричне моделювання, яке вимагає спершу застосувати матеріал, геометричне реагуватиме на сили так само, як і реальні об'єкти.

Миша та клавіатура часто використовуються як пристрої введення, а також іноді використовуються трекболи та дигітайзери. GUI передає вхідні дані з пристроїв введення до графічного ядра у відповідному форматі.

Графічне ядро створює геометричні сутності та дає вказівки графічній карті показати їх у графічному інтерфейсі.

Інженери-конструктори можуть планувати та створювати свою роботу на екрані комп'ютера за допомогою CAD, роздруковувати її та зберігати для майбутніх редакцій. Об'єкти традиційного креслення представлені програмним забезпеченням САПР для механічного проектування з використанням векторних

візуальних зображень або, у деяких випадках, растрової графіки, яка показує загальний вигляд запланованих речей. Однак це стосується не просто форм.

Згідно з нормами, що стосуються конкретної програми, вихідні дані САПР повинні виражати інформацію, таку як матеріали, процедури, вимірювання та допуски, так само, як ручне написання технічних та інженерних креслень. Програмне забезпечення також враховує взаємодію між різними матеріалами та зацікавленими сторонами, що особливо важливо, оскільки субпідрядники додають до креслень більше деталей [32].

На сьогоднішній день конструкторські САПР розвиваються швидше комплексних САПР, оскільки конструкторський САПР на відміну автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва мають більшу універсальність та дозволяють вирішувати спеціалізовані завдання взуттєвого виробництва. Конструкторські САПР адаптивні до будь-якого підприємства без необхідності налаштування під конкретне виробництво, це одна з причин їх популярності. Тому розробники автоматизованих систем у галузі САПР зацікавлені у створення таких систем через дешевшу вартість розробки та обслуговування. Комплексні автоматизовані системи технологічної підготовки та проектування виробництва, навпаки, вимагають налагодження в залежності від асортименту що випускається, сировини яка використовується.

Комп'ютерне проектування моделей у взуттєвому виробництві широко використовується ринком прикладних програм. Автоматизація процесів на виробництвах останнім часом стає дешевою і доступнішою для фірм-початківців. Системи автоматизованого проектування застосовують розробки моделей взуття, градуювання деталей тощо.

В результаті аналізу виявлено провідні фірми, що займаються виробництвом САПР для взуттєвих підприємств.

FDS Microdynamics (США) [ 33 ] - дозволяє моделювати взуття, градуювати та укладати деталі. *Комплекс CAD/CAM систем FDS фірми "Microdynamics" (USA).*

САПР взуття фірми "Microdynamics", а саме, ті версії цієї системи, які були встановлені на початку 90-х років на вітчизняних підприємствах (фабрика "Паризька комуна"), розроблялися на основі (що застаріли на сьогоднішній день) персональних комп'ютерів IBM серії PS/2. Система працювала в середовищі ОС MSDOS 3.30 і на той період часу була однією із самих потужних і перспективних САПР взуття. Вона була здатна виконувати наступні операції:

- 2D проектування деталей верху й низу взуття, що включає в себе оцифровку усередненої розгортки бічної поверхні колодки (попередньо підготовленої модельєром вручну) з нанесеними базовими лініями, проектування на екрані необхідних ліній, деталювання, нанесення гофр, наколок, трафаретів, спеціальне проектування взуття типу мокасин, градирування по розмірах і повнотах різними способами за допомогою модифікаторів і таблиць збільшень, складання програм для вирізання деталей з картону, оцінку моделі - розрахунок чистих площ і т.п., одержання звітної документації;
- 2D-функції дизайну, що включають у себе побудова моделей по базових моделях, обмін лініями й деталями в різних моделях, виправлення контурів моделі за певними правилами, об'єднання деталей у групу й поділ деталей, згладжування ліній і т.д.;
- керування технологічним устаткуванням з мікропроцесорним керуванням, що включає в себе підготовку деталей, отриманих на САПР взуття для програми "Розкладка", що управляє розкрійними пресами-автоматами фірми "Шен" (ФРН), програми "Робокад-4", що управляє верстатом для вирізання палет для швейних автоматів фірм USM (Австрія) і Sideco (Італія);
- розробку ескізів взуття й прямої колекції моделей відповідно до напрямку моди, що включає в себе введення кольорових зображень із відеокамери або зі скануючого пристрою, введення кістяка (каркаса) колодки з базисними лініями моделі з подальшою передачею інформації у двомірну програму "Мікродизайн" для оформлення ескізу взуття й т.п. Програма дозволяє

перетворювати тривимірні дані у двомірні для подальшої їхньої обробки у двомірній системі;

- 3D проектування взуття, що включає в себе тривимірну оцифровку колодки, нанесення ліній моделі верху, перетворення тривимірних даних у двомірні, складання програм для копіювально-фрезерних верстатів із програмним керуванням для виготовлення прес-форм литтьових агрегатів типу "Десма". Система дозволяє градирувати тривимірні дані.

Комплекс систем FDS (Footwear Design System), маючи перераховані функції, дозволяв робити моделювання двома способами. *Перший* - це проектування взуття починаючи з оцифровки колодки. За допомогою 3D оцифрувальника знімається кістяк колодки (характеризується великою погрішністю), наносяться базисні лінії заготівки верху, потім поверхня колодки з базисними лініями розпластується й передається у двомірну частину САПР. В 2D системі за цим даними визначаються вузлові точки градирування, визначаються деталі верху, коректуються й згладжуються лінії й готується програма для вирізання картонних шаблонів середнього розміру моделі, виготовляються різакі й запускається дослідна серія у виробництво. Після виконання всієї цієї роботи можна було запускати модель взуття на градирування в 2D системі, вирізати повний комплект шаблонів, виготовляти комплект різаків необхідний для випуску продукції й запускати модель взуття в масове виробництво. *Другий шлях* - це використання тривимірної системи для створення зразків, а двомірної - для технічного моделювання вже відпрацьованих вручну моделей, для деталювання, градирування та запуску у виробництво в найкоротший термін.

У комплексі систем FDS перспективний двосторонній зв'язок між 3D і 2D системами, що дозволяло безупинно обмінюватися даними, проектувати деталі низу й виготовляти прес-форми на копіювально-фрезерних верстатах для литтьових агрегатів по конкретній відпрацьованій в умовах виробництва моделі. Станція "Мікродизайн" дозволяла проектувати ескізи взуття й зберігати їх у базі

даних, виготовляти каталоги й фотографії для подання моделей на художній раді і ярмарку, що дозволяло без значних витрат (виготовлення зразків) визначити найбільш перспективні асортименти для масового виготовлення взуття.

Розглянувши всі основні можливості комплексу систем FDS фірми "Microdynamics", слід зазначити чому оповідання велося в минулому часі. *По-перше*, на тих вітчизняних підприємствах, на яких ця система була встановлена так і не вийшло всебічно використовувати функції цієї системи. Це було пов'язане з тим, що на практиці багато з перерахованих вище функцій даної системи не відповідали вимогам технологічного процесу. *По-друге*, реанімація навіть окремих елементів цієї системи неможлива, тому що та апаратна й програмна платформа, на якій вона функціонувала, настільки застаріла, що використання її в цей час просто не економічно й недоцільно. Це викликано тем, що витрати на реанімацію будуть рівносильні витратам на сучасний програмний і апаратний інструментарій. *По-третє*, у цей час фірма "Microdynamics" уже не існує, а ті послідовники, які утворилися після її розпаду подібними розробками вже не займаються.

Clarks (Англія) [34] - розрахунок площі, здійснює креслення деталей, розрахунок економічності моделей. Їх продукт Shoe Master 2D&3D призначений для проектування/конструювання верху взуття на колодці, проектування колодок;

Lectra (Канада, Австрія, Франція) [35] – є функціонал для роботи з колодкою, конструює взуття, деталізує, градує, укладає, розробляє шаблони деталей верху взуття. *CAD/CAM система ROMANS 3D&2D фірми "LECTRA" (Франція)* призначена для конструювання верху взуття на колодці. Вона має потужний інструментарій для уведення вихідної інформації про колодку, проектування базових ліній заготовки верху, переносу вже спроектованої моделі верху на іншу колодку, одержання плоскої розгортки заготовки верху, коректування цієї розгортки і її градування. Також як і в системах FDS, тут передбачений швидкий перехід з 3D системи в 2D. Система ROMANS 2D дозволяє одержувати плоску розгортку

моделі верху, робити конструкторське редагування з нанесенням ліній обробки й т.п., здійснювати серійне градирування (мал. 1 д).

Система ROMANS 3D&2D здатна працювати з такими розповсюдженими форматами запису файлів, як HPGL, 1GES, DXF (читання й збереження в цих форматах є безсумнівним плюсом даної системи й говорить про її високий клас) і SET, що є одним з відомих форматів вимірювально-цифрових пристроїв обмірювання.

Безсумнівним плюсом даної системи є й те, що її інтерфейс представлений у піктографічному виді, що саме по собі говорить про зручність її використання. Система ROMANS 3D&2D, у порівнянні із системами сімейства FDS фірми "Microdynamics" розроблена не дуже давно, а саме, наприкінці 1994р.

З моменту запуску LeatherSuite V7 у 2019 році компанія Lectra наполегливо працювала над удосконаленням свого програмного рішення, яке надає збагачені дані для оптимізації процесів і спрощеного виконання, дозволяючи виробникам досягати своїх цілей у продуктивності та контролювати випуск продукції.

«LeatherSuite версії 8 підвищує продуктивність до 10% завдяки суттєвим удосконаленням верстату з трьома головками для різання», — каже Фавро. «Тепер швидше, ніж будь-коли – додавання нової головки до наявної машини та перехід від двох до трьох голівок підвищує продуктивність на 15%. Крім того, нова версія покращує ефективність гніздування до 0,5%, що призводить до значної річної економії матеріалів».

Ця додаткова ефективність розміщення є результатом кластера з п'яти вбудованих комп'ютерів, які працюють разом для підвищення продуктивності. Вони покладаються на потужні алгоритми для аналізу кількох рішень для гніздування, щоб визначити оптимальне використання матеріалу та зменшити помилки різання.

Подібним чином було покращено розпізнавання сканером завдяки заміні зеленої конвеєрної стрічки на синю, що забезпечує кращий контраст між шкурами



та поверхнею різання. Ефективність нульового буфера, яка не залишає місця між окремими відрізними частинами та збільшує площу кожної шкіри, яку можна використовувати, була додатково оптимізована за допомогою нової притискної лапки з пазами ріжучої головки.

«Удосконалення апаратного та програмного забезпечення, засноване на відгуках клієнтів, підвищило продуктивність на 35% продуктивності та ефективність продуктивності на 2,5%, а також забезпечило більшу надійність і довговічність», — зауважує Фавро. «І ми не повинні забувати, що всі наші випуски сумісні з нашою встановленою базою з 2011 року, коли Versalis вийшов на автомобільний ринок».

«Нова пілотна стратегія покращує якість різання на загальних лініях, щоб зробити нульовий буфер між деталями реальністю, застосовуваною у виробництві», — додає він., - цей високий ступінь точності та повторюваності сприяє стандартизації якості, знижуючи рівень мінливості через рівень кваліфікації співробітників або плинність команди».

Автоматичні розширені функції гніздування збільшили економію матеріалів до 7% порівняно з ручними процесами. Збільшення виходу шкіри таким чином також покращує екологічну стійкість, утворюючи менше відходів.

Delcam Crispin фірми USM (Англія) [ 36 ] - призначена для моделювання та дизайну взуття. Вона призначена як для роботи із плоскими кресленнями й зображеннями, так і для проектування взуття на тривимірній поверхні колодки.

"Aiom+Vicom Computersysteme Gmb" (Австрія) – Їх продукт *CAD/CAM система PADS*. Аналогічна системам FDS фірми "Microdynamics" система PADS забезпечує 2D і 3D розробку моделей взуття, технологічну підготовку виробництва, а також програмне керування технологічним устаткуванням. Система дозволяє робити 2D проектування деталей верху й низу взуття, у тому числі проектування по базових моделях, виправлення контурів, згладжування ліній, операції редагування, деталювання, нанесення гофр, наколок, ліній обробки, серійне градирування,

складання програм для розкрою картонних шаблонів, оцінку матеріалоемності й розрахунок "чистих" площ і периметрів деталей, розрахунок укладуваності деталей, а також одержання конструкторської документації. Система визначає потребу в тому чи іншому матеріалі залежно від передбачуваного обсягу випуску. При цьому проектувальник може оцінити розроблювану модель за вартістю застосовуваних матеріалів і прийняти рішення про використання в даній моделі взуття конкретного виду матеріалу. Дана система спрямована на автоматизацію процесів розкрою у взуттєвому виробництві. Прикладом може служити підсистема PADS SAMPLE.

TESEO (Італія) [37] - система NAXOS від італійської фірми TESEO одержала на українському ринку широке розповсюдження. Її функції аналогічні функціям системи ROMANS фірми LECTRA. Вона призначена як для роботи із плоскими кресленнями й зображеннями, так і для проектування взуття на тривимірній поверхні колодки.

Так, 3D – блок передбачає виконання наступних функцій:

- тривимірна оцифровка колодки й згладжування її поверхні;
- можливість редагування тіла колодки;
- малювання контурів моделі на колодці в середовищі 3D;
- розпластання промальованої на колодці ґрунд-моделі;
- градирування тривимірних тіл;
- візуалізація проектованої моделі з використанням бази даних фактур матеріалів.

Одне з переваг даної системи - те, що вона може працювати з універсальним графічним форматом DXF, що підтримує більшість сучасних графічних САПР:

- проектування ескізу моделі, конструкції взуття;
- серійне градування деталей взуття для спектру розмірів та повноти, виконує оцінку укладності та матеріаломісткості конструкції, вирізання шаблонів.

«ІРІС» (Україна) [38] – програмний комплекс, розробка колективу кафедри КТВШ КНУТД (автор Рябець О.І.). Програма виконує наступні функції:

- оцифровування контурів; проектування; градування;
- креслення картинок;
- розміщення шаблонів. Розробка здебільшого спрямована на автоматизацію окремих етапів технологічного процесу виробництва верху взуття й, у відмінності від закордонних аналогів, є більш дешевою.

Більш конкретно хотілося зупинитися на трьох системах автоматизованого проектування: Shoemaster (Atom corp, Італія) [39], Gemini(Румунія) [40], Grafis(Німеччина) [41].

## Shoemaster

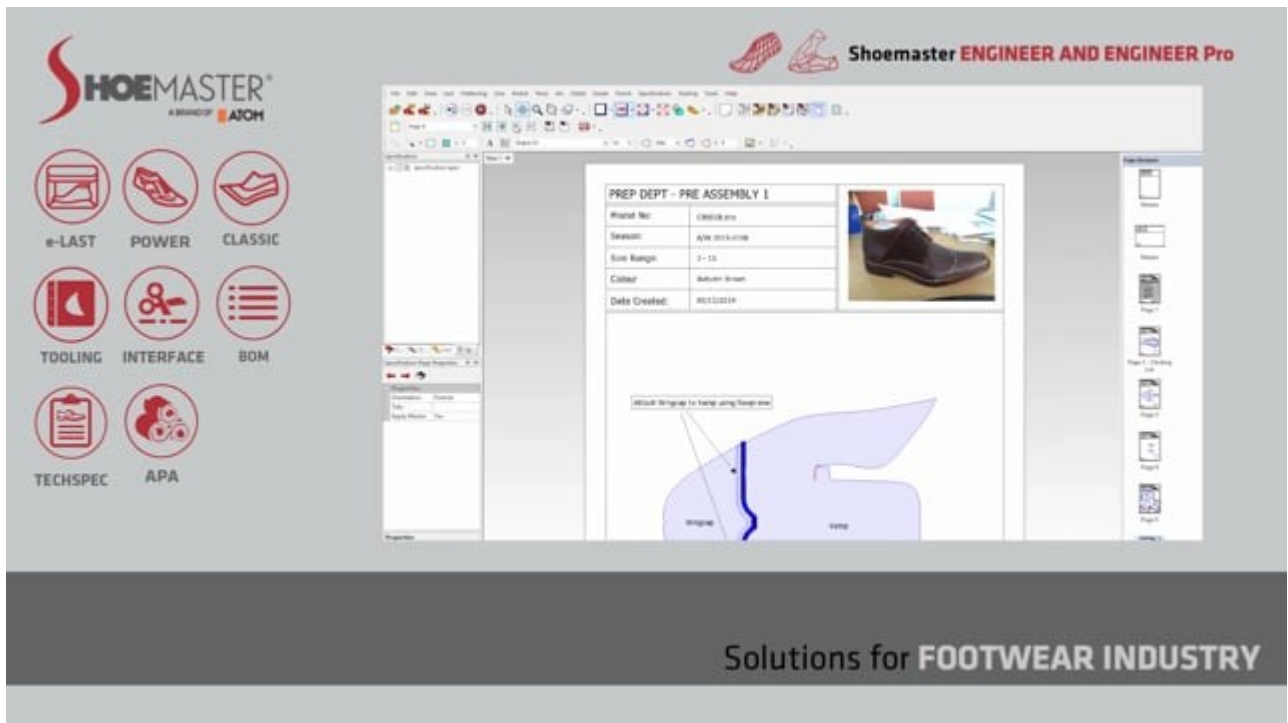


Рис. 1.1. Інтерфейс програми Shoemaster

Система 2D CAD/CAM, що надає базові інструменти для проектування та класифікації візерунків взуття для простих стилів взуття (Рис. 1.1) Система забезпечує ідеальне рішення для легкого створення стилів і деталей або імпортування наявних робіт. Shoemaster Patterns є відповідним рішенням для простого моделювання шаблонів.

Ця спрощена, але високопродуктивна система є ідеальним рішенням для сортування та створення деталей взуття, яка містить усі функції для створення набору градуйованих шаблонів. PATTERNS дозволяє суттєво скоротити час, необхідний для введення шаблону, що призводить до швидшої пропускної здатності та збільшення виробничих потужностей. Потужний інтегрований конвертер із DXF у рідний формат Shoemaster.

## Gemini

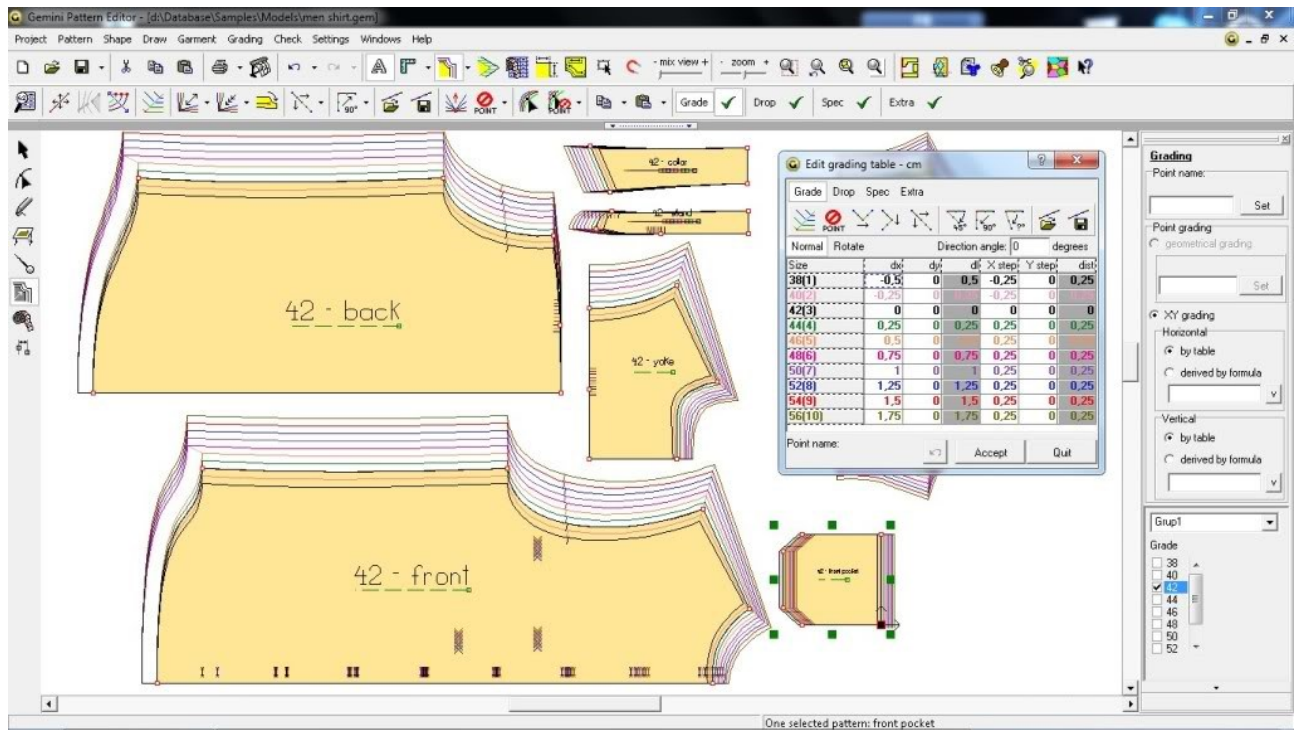


Рис. 1.2. Інтерфейс програми Gemini

Мультифункціональна система автоматизованого проектування Gemini X19 - це продукт новітніх розробок компанії Gemini CAD Systems в області проектування одягу, взуття, головних уборів, сумок, галантереї, оббивки меблів. Програма значно полегшує роботу з проектування моделей, планування розкрою, створення звітів і фінального крою (Рис. 1.2).

Переваги система автоматизованого проектування Gemini:

- абсолютна універсальність і широке застосування;
- вбудований конвертер файлів, за який нема потреби платити;
- виведення готових розкладок лекал на плоттер, каттер;
- три способи побудови нової моделі;
- автоматична градація;
- автоматична перебудова базової конструкції;
- декілька дизайнів до однієї моделі, що спрощує процес пошуку і зберігання моделей;

- автоматичне створення технічної документації з можливістю редагування;
- планування і оптимізація настилів і розкрою;
- автоматична розкладка лекал;
- gemini сервер розкладок;
- універсальна інтеграція з будь-яким каттером.

## Grafis

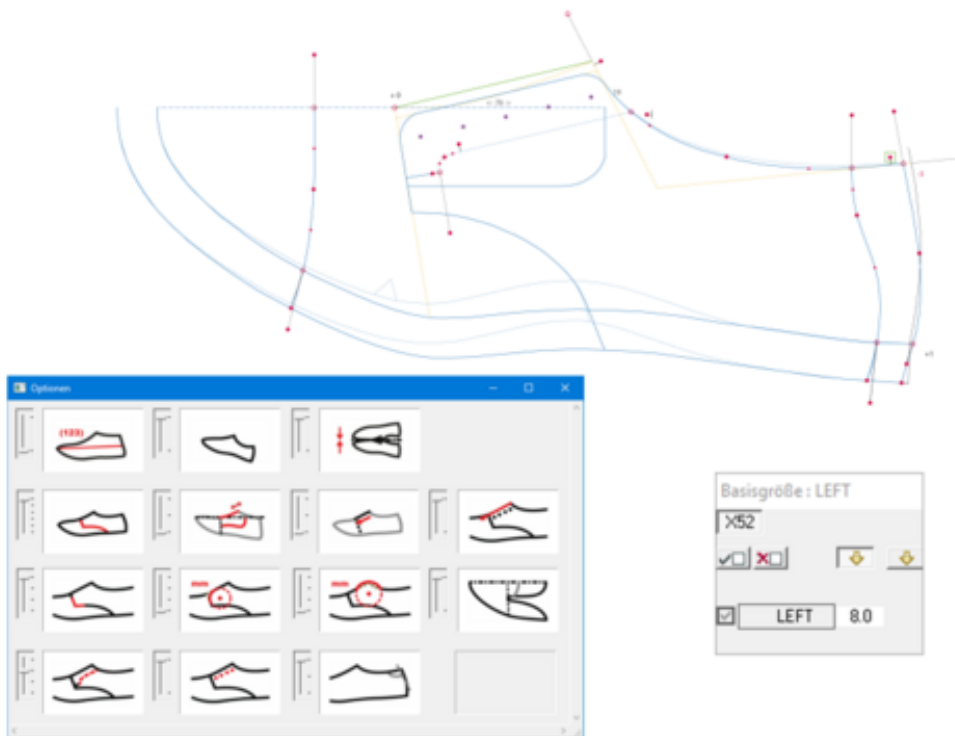


Рис. 1.3. Інтерфейс програми Grafis

З допомогою GRAFIS CAD Shoe Construction у вас є можливість генерувати викрійки на основі деталей відповідно до принципу конструкції. Сорткування готового взуття в GRAFIS - це поєднання пропорційного збільшення основи верху і подальшого розвитку стилю. Особливість GRAFIS полягає в тому, що кроки побудови записуються під час розробки стилю, а потім автоматично повторно обробляються під час сорткування інших розмірів. Також передбачається вплив на класифікацію через коригування окремих параметрів залежно від розміру (Рис. 1.3). Таким чином можна швидко та ефективно створювати та впроваджувати групи

оцінювання. Крім того, GRAFIS пропонує вам можливість будувати ваші стилі на основі інтерактивних конструкцій верху. Ці інтерактивні верхні конструкції можна регулювати інтерактивно або за допомогою введення значення. Вони пропонують безліч можливостей для модифікації стилю та оптимізації форми. Для взуття на замовлення, зокрема ортопедичного взуття, GRAFIS пропонує спеціальні функції, оскільки верхню конструкцію можна легко відрегулювати відповідно до індивідуальних розмірів і асиметричної форми стопи. Подальші виправлення або модифікації розвитку стилю можливі в будь-який час через налаштування параметрів. Кожен стиль можна налаштувати під конкретного клієнта. Це стосується як посадки, так і стилю. GRAFIS автоматично створює взаємозалежності між частинами вашого шаблону. Модифікація деталі проявлення автоматично призводить до коригування залежних частин шаблону. Таким чином, не виникає небажаних відмінностей у довжині швів. Взаємозалежність також пропонує вам ефективне та швидке створення варіацій стилю.

#### Переваги GRAFIS:

- інтерактивні конструкції для оптимізації підгонки та модифікації стилю;
- дивергентне регулювання для ортопедичного взуття;
- автоматичне оцінювання;
- параметри забезпечують максимальну гнучкість;
- взаємозалежність частин візерунка спрощує модифікацію стилів;
- інтегровані інтерфейси імпорту та експорту.

Комп'ютерне проектування (CAD) є важливою сферою розробки продукції та промислового сектора. Це дозволяє інженерам розробляти, тестувати та оптимізувати свій дизайн у безпечному середовищі без необхідності створювати дорогі прототипи. Програмне забезпечення САПР також забезпечує документацію, записує специфікації та забезпечує співпрацю між кількома дисциплінами та зацікавленими сторонами у виробництві продукції. Ось чому організації повинні розуміти, як працює автоматизоване проектування та його ключові поняття.

Як можна побачити, САПР має велику кількість переваг, але водночас вони не позбулися деяких недоліків. На сьогоднішній день всі відомі системи автоматизованого проектування, особливо для виробництва одягу та взуття, вирішують, як правило, «приватні» завдання. Це є однією з проблем масштабного використання існуючих САПР. Також такі системи мають доволі високу одноразову ціну на ринку або платну підписку, щомісячна ціна якої теж доволі висока. Ще одним недоліком є те, що оператор такого САПР повинен бути висококваліфікованим спеціалістом, який має проходити курси по використанню відповідного програмного забезпечення, та мати підходящі сертифікації.

### **1.3. Огляд систем розкрою шкіри в легкій промисловості**

З багатьох етапів у виробництві шкіряних виробів розкрій шкіри має першочергове значення не лише тому, що він помітно впливає на якість кінцевого продукту, але й тому, що він має серйозні наслідки для вартості та ефективності [44]. Фактично, Національна асоціація виробників взуття, виробів зі шкіри та технологій дублення Італії (Assomac) нещодавно підкреслила, що розрізання є однією з ключових проблем для більшості виробників шкіри.

Не тільки виробники розглядають процес різання під мікроскопом, але й шкіряні заводи також починають усвідомлювати важливість етапу різання для оптимізації якості шкіри та зменшення відходів [45].

Дійсно, нещодавнє дослідження, проведене незалежною дослідницькою організацією SINTEF і Норвезьким університетом науки і технологій, підкреслює, що «ефективне використання шкіри має першочергове значення, що можна пояснити тим фактом, що вартість шкіри часто становить значну частку виробничих витрат, так що збільшення її використання забезпечує значну економію витрат».

«Як наслідок, у шкіряній промисловості багато уваги приділялося вдосконаленню алгоритмів вкладення для визначення того, як розмістити різноманітні вироби на шкірі», — продовжує дослідження, зазначаючи, що «для більшості компаній час оцінки та обчислення ресурси, необхідні цим алгоритмам



для досягнення оптимальних результатів, є недосяжними, що часто призводить до прийняття неоптимальних результатів для використання хованки та результатів, які не відповідають заздалегідь визначеним планам виробництва».

Таким чином, існує великий простір для інновацій у багатьох аспектах процесу різання, включаючи вкладення для оптимізації використання шкіри та прагнення бути більш точним під час різання шкіри, щоб максимально використати високоякісні матеріали та зменшити витрати під час виробництва максимальної кількості цінні виробу зі шкіри [46].

В останні роки виробники машин для різання прислухалися до заклику до інновацій і прагнули створювати машини, які забезпечують швидше налаштування, швидку роботу та кращий вихід шкіри.

Компанія “Lince Pantograph” є лідером у градуюванні деталей, використовує добре відомий вирізувальний пристрій (перфоратор) [47] у сукупності з двокоординатною системою описування об’єкта CAD. Ножі завулканізовані і мають двокоординатну систему для транспортування та розкроювання шкіри на столі. На розкрійному столі є маленькі отвори та маркувальне перо. Використовується PC з Windows 95, що дає змогу налагодити правильно процес.

Новою є трьох координатна система проектування каблука в комплекті з роторною машиною з обробки деревини.

Фірма “Gerber” (один з головних операторів CAD/CAM) продовжує поставляти ріжучі системи, програми менеджменту продукції та ціноутворення [48].

Автоматизована система Nestor Plus розкрою шкіри фірми “Torielli” (Італія) [49]. Ця система третьої генерації може використовувати шаблони, високе освітлення робочої площини дає можливість кроїти чорні матеріали. Використовують систему Nestor Plus разом з пресом Zund LC 180 з робочою площиною 1800×700 мм, що має робочу головку з асцилюючим ножом та іншими пристроями. Працює у комплекті з Pentium PC, що дає змогу одержати картину

розкроювання у кольорі, посилити контраст і мати розрахунок результатів розкроювання.

“Elitron” [50] – нова фірма у сфері CAD/CAM, заснована в 1991р. Вона має двокоординатну систему для транспортування та розкроювання шкіри на розкрійному столі, на якому є маленькі отвори та маркувальне перо. Використовується PC з Windows 95.

Система Caligola P4 CN [51] призначена для вирізування шаблонів, причому P4 CN керує вирізуванням, підраховуючи всі витрати (собівартість) робіт, може градувати і одержувати всю серію шаблонів.

Розкрійні автомати фірми “Teseo Spa” (Fermo/Italy) [52]. В них використовуються CAD system, що базуються на Windows 95/98.

Автомати марки FC-4 [53] з робочими столами кількох розмірів (1000×800 мм; 2400×1000 мм; 3600×1400 мм). Усі столи мають вакуум пристрій, що утримує матеріал на поверхні столу. Різальна головка може бути оснащена на вибір різними інструментами – вібруючим ножом, пером з чорнилом різного кольору, пробійниками, що обертаються, двох діаметрів (від 0,5 мм до 10 мм).

При використанні методу FCM можна вирізати деталі або шаблони з жорстких матеріалів, таких як пластик чи метал. Різальний інструмент з діаметром від 2 до 5 мм працює на швидкості до 30 тисяч обертів на хвилину. Матеріал фіксується за допомогою вакуумного пристрою, а робоча зона становить 100×1200 мм.

Модифікація SNAP розроблена для обробки твердих пластикових матеріалів. Інструмент діаметром від 1,6 до 3 мм може працювати з матеріалами товщиною понад 2,5 мм. Робоча площа цього обладнання становить 800×500 мм. Осцилюючий ніж виконує понад 11 тисяч рухів за хвилину, а швидкість різання може досягати 20 см/с. Крім того, під час роботи автоматично використовується маркувальне перо, яке наносить на шаблон необхідні позначення. З 1992 року в

технологіях розрізання також почали застосовувати водяний струмінь для обробки матеріалів.

Компанія "Lectra" з Франції розробила інтегровану систему Total Solution, яка охоплює весь процес — від проєктування до вирізання деталей. Ця система стала новаторською у впровадженні трикоординатних технологій для створення форм та деталей. Використання лазера дозволяє виконувати роботу з високою точністю, одночасно забезпечуючи контроль параметрів. Завдяки цій системі можна створювати проєкти на екрані з можливістю обертання тривимірних зображень, розробляти двовимірні плоскі деталі, змінювати кольори та текстуру матеріалів [54].

Серед виробників, які поглиблено дослідили, як автоматизація може значно покращити використання шкіри в процесі різання, є Lectra. Його рішення Versalis Auto [55] для різання шкіри було розроблено, щоб сприяти більш ефективному виробничому циклу та забезпечити підвищену продуктивність для досягнення оптимізованого використання шкіри та економії. Велика частина його цінності полягає в точному аналізі шкіри, а також якості різання.

Ці фактори дозволяють виробникам справлятися зі зростаючою складністю, керуючи коливаннями виробничих партій. Versalis також допомагає виробникам шкіри для автомобільної промисловості скоротити ваш час на контроль над ринком, збільшити маржу та підвищити загальну конкурентоспроможність виробництва. Розроблений спеціально для масового виробництва, він керує всіма етапами від оцифровки шкіри до виробництва вирізаних деталей, допомагаючи постачальникам досягти найвищого рівня якості, незалежно від сорту шкіри, без додаткових витрат на інструменти.

«Versalis — це цифровий верстат для різання шкіри, — каже Ніколя Фавро, директор із маркетингової стратегії автомобільного відділу Lectra. «Завдяки десятиліттям досвіду Lectra у обробці шкіри технологія Versalis приносить продуктивність у цех розкрою шкіри для масового виробництва відповідно до

автомобільних стандартів. Рішення Versalis Auto для різання шкіри сприяє більш ефективному виробничому циклу та підвищенню продуктивності, що призводить до оптимізації використання шкіри та економії».

Останнім кроком вперед завдяки досвіду Lectra на ринку та її розумінню потреб своїх клієнтів, а також потягу до інновацій, є впровадження нових технологій, таких як хмарні обчислення, великі дані, промисловий Інтернет речей (IoT) і розширена аналітика.

«Готовність до «Індустрії 4.0» вже багато років є основою стратегії Lectra», — каже Фавро. «Інтелектуальні дані контролюють і оптимізують загальні операції розкрою шкіри. У Versalis використовуються автоматизовані алгоритми вкладення та новітні технології цифрового програмного керування (CNC).

«Машина має понад 250 вбудованих датчиків, які обмінюються даними для контролю процесів і витрат у реальному часі», — додає він. «Звіти в реальному часі з персоналізованими KPI збільшують простір для розкрою та ефективність операторів. Будучи доступним для кожного місця, звіти також дозволяють порівняти кілька показників продуктивності ЧПК».

### **Висновки першого розділу та ключові завдання дослідження**

1. Одним із найважливіших напрямів при створенні систем автоматизованого проєктування в галузі легкої промисловості є зменшення трудовитрат в людино-годинах на етапі технологічної підготовки даних, оскільки ця стадія є сполучною ланкою між процесом проєктування схем розкрою та безпосереднім виготовленням продукції.

2. Аналіз сучасних рішень на ринку CAD/CAM показує, що виробники часто перебільшують їх ефективність. Насправді ж, очікуваний приріст продуктивності часто не досягається через слабкий рівень інтеграції між окремими модулями програмного забезпечення та комплексністю всієї системи.

3. Щоб відповідати умовам жорсткої міжнародної конкуренції та зберегти стабільні позиції на ринку, підприємствам слід спрямовувати зусилля на глибшу інтеграцію CAD та CAM-підсистем у рамках єдиної інформаційної платформи.

4. Досвід зарубіжних компаній у сфері проєктування та виготовлення виробів не завжди може бути застосований до українських реалій, оскільки існують відмінності у виробничих підходах та вимогах.

5. В результаті аналізу наукових джерел встановлено, що на сьогоднішній день завдання автоматизованого створення схем розкрою матеріалів для шкіргалантерейних виробів з комплектним виходом деталей залишається відкритим. Хоча деякі CAD-системи ефективно вирішують подібні задачі для швейних виробів, їх перенесення на виробництво галантереї виявляється обмежено придатним через відмінності у специфіці деталей.

Виходячи з окреслених проблем, у межах даного дослідження поставлено наступну мету — удосконалити технологію для автоматизації процесу створення схем розкрою матеріалів, призначених для галантерейних виробів. Для досягнення цієї мети необхідно:

- запропонувати новий підхід у формуванні оптимальних схем розкрою матеріалів та побудувати математичну модель задачі, з урахуванням комплектності деталей;
- розробити математичний апарат та методологію для інтерактивного створення і редагування схем розкрою, що вже були згенеровані, із фокусом на потреби галузі шкіргалантереї.

## 2. АВТОМАТИЗОВАНА ПІДГОТОВКА ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗОВНІШНІ КОНТУРИ ДЕТАЛЕЙ ШКІРГАЛАНТЕРЕЇ

### 2.1 Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі прямокутника

#### 2.1.1. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі прямокутника та спряженням будь-якого кута цього прямокутника дугою кола заданого радіусу

Для однозначного визначення параметричної моделі прямокутника заданої довжини  $DlP$  та ширини  $ShP$  достатньо знайти залежності координат його вершин від його довжини та ширини.

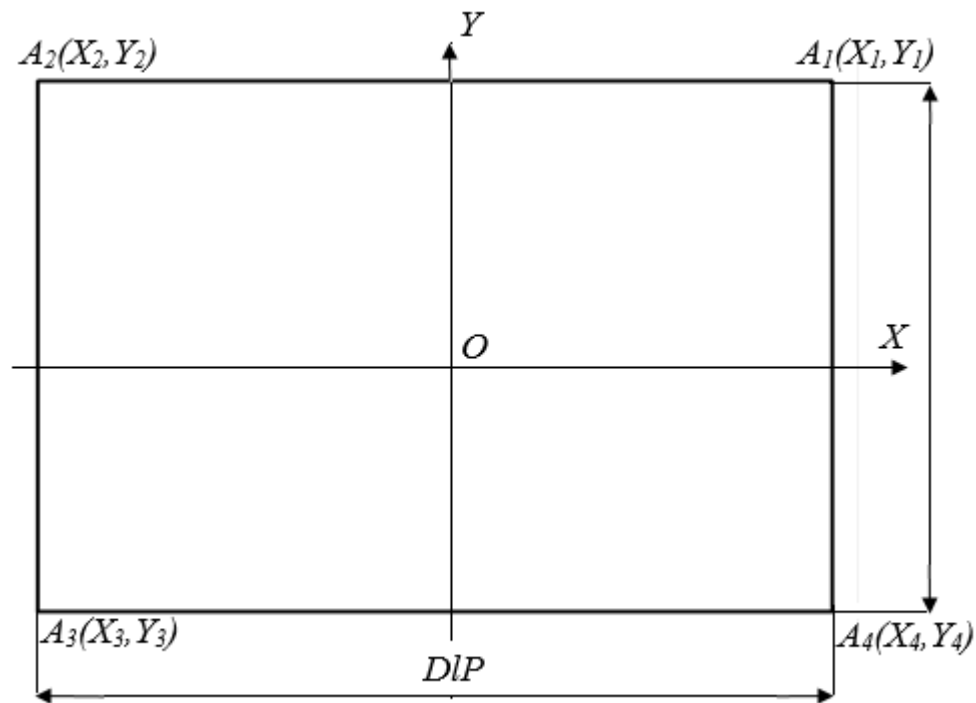


Рис. 2.1. Прямокутник та його параметри

Якщо центр прямокутної системи знаходиться в центрі прямокутника, то цю залежність для вершин  $A_1(X_1, Y_1)$ ,  $A_2(X_2, Y_2)$ ,  $A_3(X_3, Y_3)$ ,  $A_4(X_4, Y_4)$  можна представити наступним чином(рис. 2.1):

$$\begin{cases} X_1 = DlP/2; & Y_1 = ShP/2; \\ X_2 = -DlP/2; & Y_2 = ShP/2; \\ X_3 = -DlP/2; & Y_3 = -ShP/2; \\ X_4 = DlP/2; & Y_4 = -ShP/2; \end{cases}$$

Часто деталі шкіргалантереї представляють собою прямокутники зі спряженими дугами кіл кутами. Розглянемо задачу спряження будь-якого кута прямокутника заданої довжини  $DlP$  та ширини  $ShP$  дугою радіусу  $R_i$ ,  $i=1,2,3,4$ .

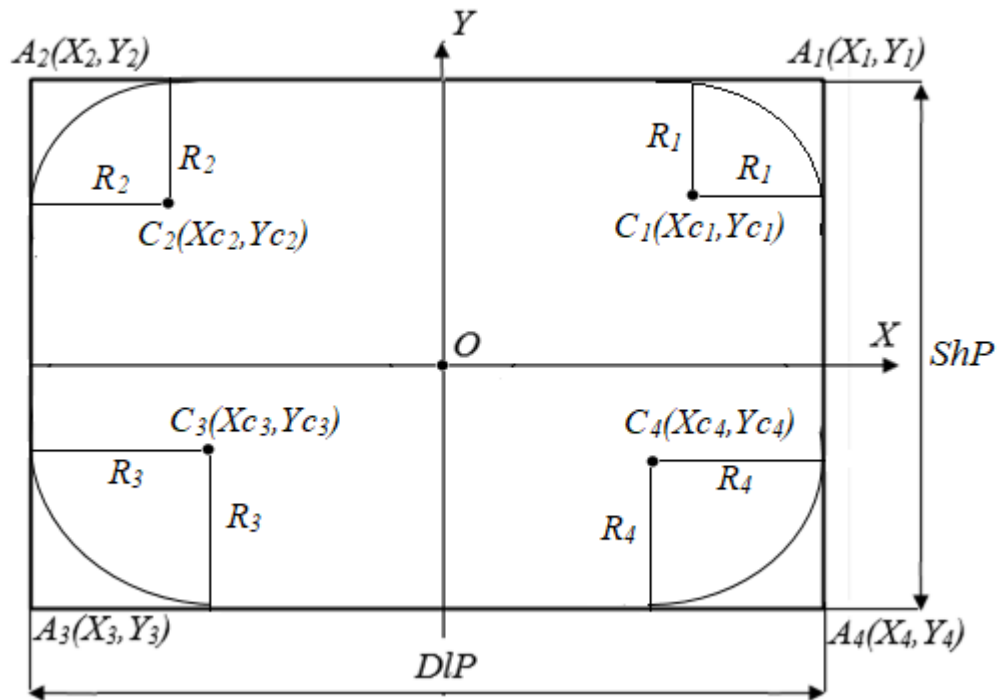


Рис. 2.2. Спряження кутів прямокутника дугою заданого радіусу

Для цього знайдемо координати центрів кіл  $C_i(X_{ci}, Y_{ci})$ ,  $i=1,2,3,4$  (рис. 2.2). Із рис. 2.2 очевидно, що:

$$\begin{cases} X_{c1} = DlP/2 - R_1; & Y_1 = ShP/2 - R_1; \\ X_2 = -DlP/2 + R_2; & Y_2 = ShP/2 - R_2; \\ X_3 = -DlP/2 + R_3; & Y_3 = -ShP/2 + R_3; \\ X_4 = DlP/2 - R_4; & Y_4 = -ShP/2 + R_4; \end{cases}$$

Тоді спряжену дугу для кожного із кутів  $A_i$  заданого прямокутника представимо ломаною лінією наступним чином із заданою точністю  $\varepsilon$ :

$$\begin{cases} X_{ij}^d = R_i \cos\left(\frac{j \cdot \pi}{2n_i} + (i-1)\frac{\pi}{2}\right) + X_{C_i} \\ Y_{ij}^d = R_i \sin\left(\frac{j \cdot \pi}{2n_i} + (i-1)\frac{\pi}{2}\right) + Y_{C_i} \end{cases}, i=1,2,4; j=0,1,2..n_i$$

та [1-2]:

$$n_i \geq \frac{\pi}{4 \arccos\left(1 - \frac{\varepsilon}{R_i}\right)}.$$

### 2.1.2. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти $h$

Розглянемо деталі шкіргалантереї, які можна представити у вигляді комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який знаходиться зовні прямокутника (рис.2.3-2.4) тобто:

$D = P \cup S$ , де  $D$  – деталь,  $P$  – прямокутник,  $S$  – сегмент кола.

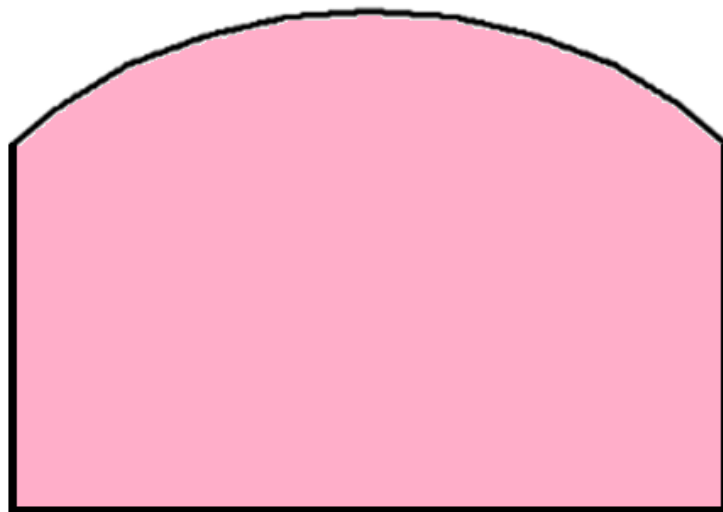


Рис. 2.3. Деталь шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$



Для створення параметричної моделі деталі шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$  достатньо знати наступні параметри структурних компонентів цієї деталі, а саме(див. рис. 2.4):

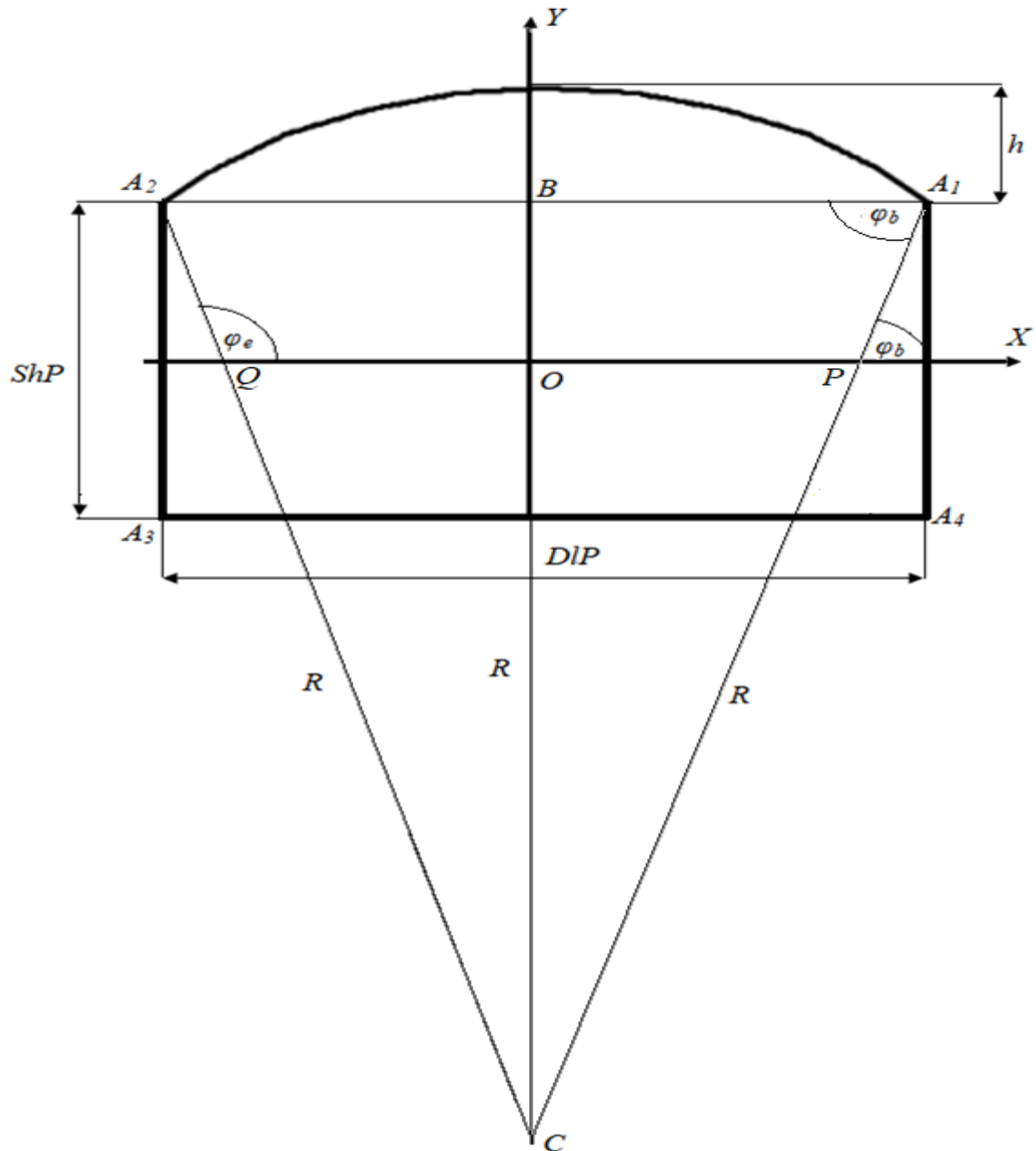


Рис. 2.4. Визначення параметрів деталі шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$

-  $DLP$ : довжина прямокутника, який є складовою частиною деталі шкіргалантереї;

-  $ShP$ : ширина прямокутника, який є складовою частиною деталі шкіргалантереї;

$h$ : висота сегменту кола  $h$ .

На основі цих параметрів нам необхідно визначити декілька додаткових параметрів, які будуть необхідні для створення параметричної моделі цієї деталі, а саме (див. рис. 2.4):

- радіус кола  $R$  для заданого сегменту кола висотою  $h$ ;
- координати центру  $C(X_c, Y_c)$  кола для заданого сегменту кола висотою  $h$ ;
- початковий кут  $\varphi_b$  дуги кола, яка описує зовнішній контур сегменту кола висотою  $h$ ;
- кінцевий кут  $\varphi_e$  дуги кола, яка описує зовнішній контур сегменту кола висотою  $h$ .

Визначимо ці величини. Для цього розглянемо трикутник  $A_1BC$ . Цей трикутник є прямокутним у якого:

- $A_1B = Dlp/2$ ;
- $A_1C = R$ ;
- $BC = R - h$ .

За теоремою Піфагора визначимо гіпотенузу  $A_1C$  за двома катетами  $A_1B$  та  $A_1B$ . Отримаємо:  $R^2 = (R-h)^2 + (Dlp/2)^2$ . Розв'яжемо це рівняння відносно  $R$ . Матимемо:  $R = (4h^2 - Dlp^2)/(8h)$ .

Визначимо це невідомі параметри сегмента кола, що є складової деталі шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$ , а саме:

- координати центру кола  $C(X_c, Y_c)$ , до якого належить компонент нашої деталі, а саме сегмент кола;
- початковий  $\varphi_b$  та кінцеві кути  $\varphi_e$  дуги кола, що відображає зовнішній контур сегменту кола.

Із рисунку рис. 2.4 очевидно, що  $X_c = 0$ ;  $Y_c = ShP/2 + h - R$ .

Для визначення початкового кута  $\varphi_b$  розглянемо  $\triangle B A_1 C$ . Він прямокутний. Так як сторона  $A_1 A_2$  прямокутника  $A_1 A_2 A_3 A_4$  паралельна осі координат  $OX$  за побудовою, то кут  $\angle BAC = \angle A_1 P X = \varphi_b$ . Тоді очевидно, що:

$$\cos \varphi_b = |BC|/|CA_1| = (R-h)/R;$$

$$\sin \varphi_b = |BA_1|/|CA_1| = DLP/(2R).$$

Знаючи  $\cos \varphi_b$  та  $\sin \varphi_b$  легко однозначно визначити кут  $\varphi_b$ . Тоді очевидно, що  $\varphi_b = \arctg(\sin \varphi_b / \cos \varphi_b)$ .

Як видно із рис. 2.4 сума кутів  $\varphi_b$  та  $\varphi_e$  дорівнює  $\pi$ , тобто  $\varphi_b + \varphi_e = \pi$ . Звідси маємо:  $\varphi_e = \pi - \varphi_b$ .

Зараз ми маємо всі необхідні параметри для опису однієї із складових компонентів деталі шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$ , а саме сегмента кола.

Будемо апроксимувати дугу сегменту кола ломаною лінією із заданою точністю. Маючи необхідні параметри, опишемо цю ломану лінію[102]:

$$\begin{aligned} X_{S_i} &= R \cdot \cos(\varphi_b + (i-1) \cdot \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N}) + X_c \\ Y_{S_i} &= R \cdot \sin(\varphi_b + (i-1) \cdot \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N}) + Y_c \end{aligned}, i = 1, 2, \dots, N,$$

$$\text{де [103-105] : } N \geq \frac{\varphi_e - \varphi_b}{2 \arccos(1 - \frac{\varepsilon}{R})}$$

Тоді параметричну модель зовнішнього конуру деталі шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який знаходиться зовні цього прямокутника, можна представити координатами вершин  $(X_{ps_i}, Y_{ps_i})$ ,  $i=1, 2, \dots, N+3$  на зовнішньому конурі цієї деталі наступним чином:

$$Xps_i = R \cdot \cos(\varphi_b + (i-1) \cdot \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N}) + Xc, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

$$Yps_i = R \cdot \sin(\varphi_b + (i-1) \cdot \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N}) + Yc$$

$$Xps_{N+1} = X_3; \quad Yps_{N+1} = Y_3;$$

$$Xps_{N+2} = X_4; \quad Yps_{N+2} = Y_4;$$

$$Xps_{N+3} = X_1; \quad Yps_{N+3} = Y_1;$$

$$\text{де: } N \geq \frac{\varphi_e - \varphi_b}{2 \arccos(1 - \frac{\varepsilon}{R})}$$

Розглянемо деталі шкіргалантереї, які можна представити у вигляді комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який належить цьому прямокутнику (рис 2.5-2.6), тобто:

$D = P \cap S$ , де  $D$  – деталь,  $P$  – прямокутник,  $S$  – сегмент кола.

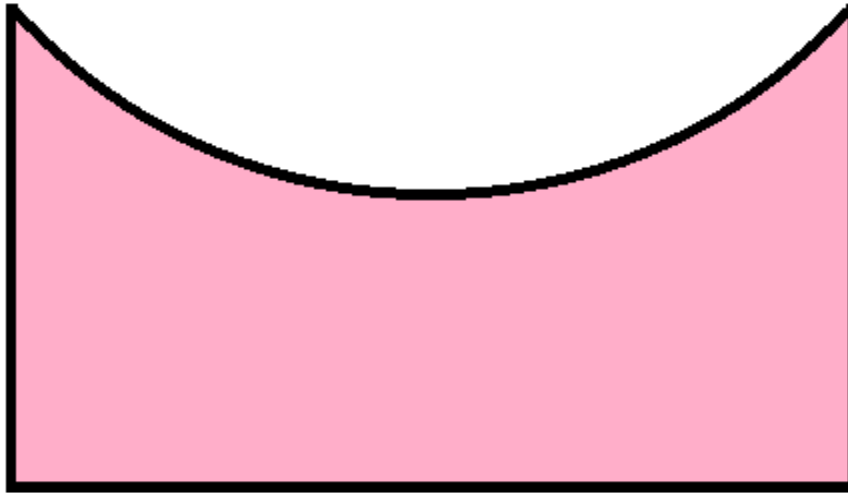


Рис. 2.5. Деталь шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який належить

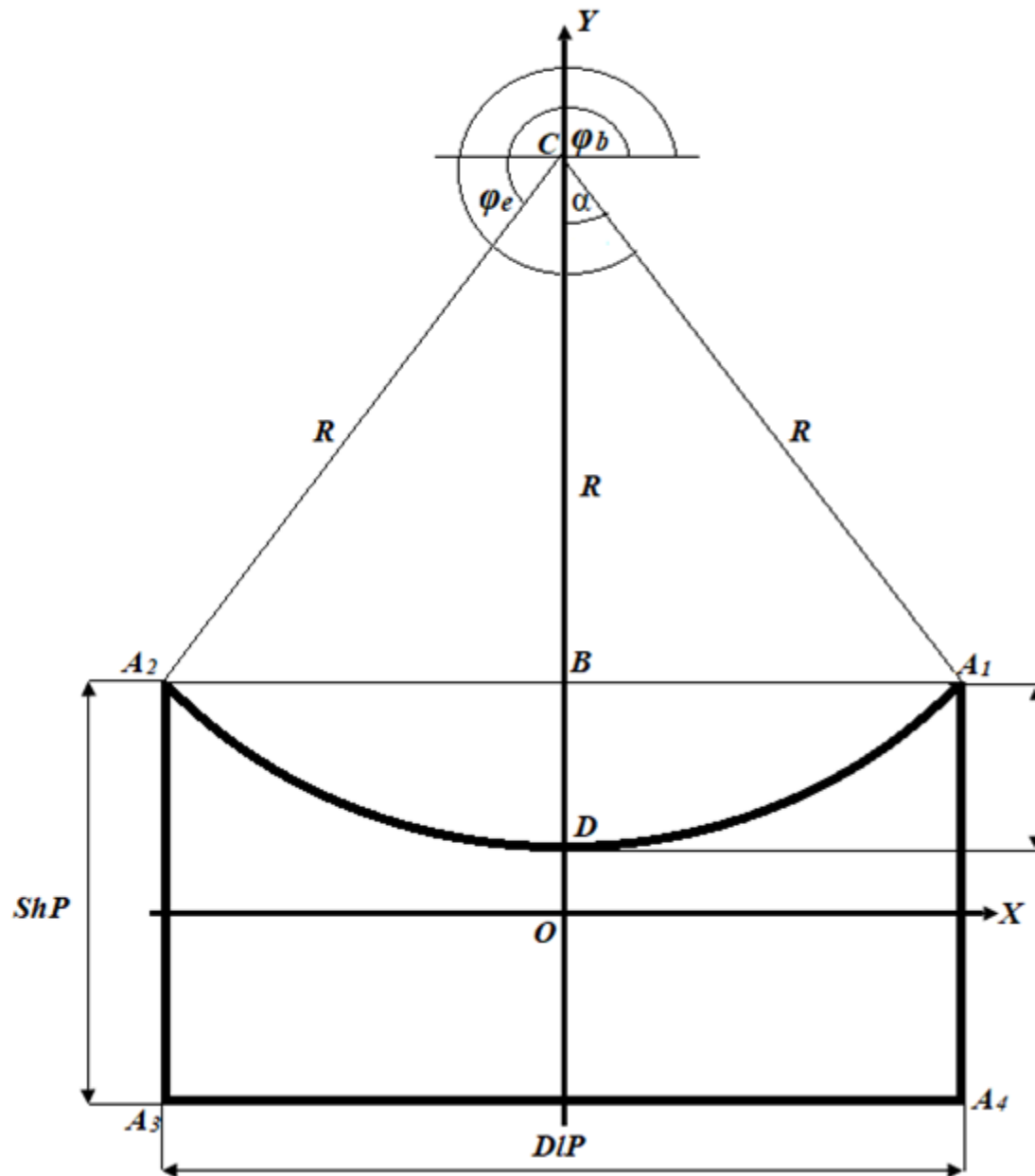


Рис. 2.6. Визначення параметрів деталі шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який належить цьому прямокутнику

На основі цих параметрів нам необхідно визначити декілька додаткових параметрів, які будуть необхідні для створення параметричної моделі цієї деталі, а саме (див. рис. 2.6):

- радіус кола  $R$  для заданого сегменту кола висотою  $h$ ;
- координати центру  $C(X_c, Y_c)$  кола для заданого сегменту кола висотою  $h$ ;

- початковий кут  $\varphi_b$  дуги кола, яка описує зовнішній контур сегменту кола висотою  $h$ ;

- кінцевий кут  $\varphi_e$  дуги кола, яка описує зовнішній контур сегменту кола висотою  $h$ .

Радіус кола  $R$  для сегменту кола висотою  $h$ , який належить цьому прямокутнику, знаходиться аналогічно радіусу кола  $R$  для сегменту кола висотою  $h$ , що знаходиться зовні цього прямокутника і дорівнює:  $R=(4h^2 - DLP^2)/(8h)$ .

Визначимо координати центру кола  $C(X_c, Y_c)$ , до якого належить компонент нашої деталі, а саме сегмент кола. Із рисунку рис. 2.6 очевидно, що  $X_c=0$ ;  $Y_c=R+ShP/2-h$ .

Визначимо початковий  $\varphi_b$  та кінцеві кути  $\varphi_e$  дуги кола, що відображає зовнішній контур сегменту кола.

Для визначення початкового кута  $\varphi_b$  розглянемо  $\triangle B A_1 C$ . Він прямокутний. Так як сторона  $A_1 A_2$  прямокутника  $A_1 A_2 A_3 A_4$  паралельна осі координат  $OX$  за побудовою, то кут  $\angle B C A_1 = \angle A_1 B C = \alpha$ . Тоді очевидно, що:

$$\cos \alpha = |BC|/|CA_1| = (R-h)/R;$$

$$\sin \alpha = |BA_1|/|CA_1| = DLP/(2R).$$

Знаючи  $\cos \alpha$  та  $\sin \alpha$  легко однозначно визначити кут  $\alpha$ . Тоді очевидно, що  $\alpha = \arctg(\sin \alpha / \cos \alpha)$ .

Як видно із рис. 2.6 кути  $\varphi_b = 3\pi/2 - \alpha$  та  $\varphi_e = 3\pi/2 + \alpha$ .

Тоді параметричну модель зовнішнього конуру деталі шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який належить цьому прямокутнику, можна представити координатами вершин  $(X_{ps_i}, Y_{ps_i})$ ,  $i=1, 2, \dots, N+3$  на зовнішньому конурі цієї деталі наступним чином:

$$\begin{aligned} Xps_i &= R \cdot \cos(\varphi_b + (i-1) \cdot \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N}) + X_c \\ Yps_i &= R \cdot \sin(\varphi_b + (i-1) \cdot \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N}) + Y_c \end{aligned}, i = 1, 2 \dots N,$$

$$Xps_{N+1} = X_4; \quad Yps_{N+1} = Y_4;$$

$$Xps_{N+2} = X_3; \quad Yps_{N+2} = Y_2;$$

$$Xps_{N+3} = X_2; \quad Yps_{N+3} = Y_2;$$

$$\text{де: } N \geq \frac{\varphi_e - \varphi_b}{2 \arccos(1 - \frac{\varepsilon}{R})}$$

## **2.2 Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі трапеції**

### **2.2.1. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів на основі рівнобедреної трапеції та спряженням кутів цієї трапеції дугою кола заданого радіусу**

Для однозначного визначення параметричної моделі рівнобедреної трапеції заданої довжини нижньої  $DlT_d$  і верхньої основ трапеції  $DlT_u$  та висотою трапеції  $H_t$  достатньо знайти залежності координат її вершин від довжини нижньої і верхньої основ трапеції та висоти трапеції.

Якщо центр прямокутної системи знаходиться в центрі рівнобедреної трапеції, то цю залежність для вершин  $A_1(X_1, Y_1)$ ,  $A_2(X_2, Y_2)$ ,  $A_3(X_3, Y_3)$ ,  $A_4(X_4, Y_4)$  можна представити наступним чином (рис. 2.7):

$$\begin{cases} X_1 = DlT_u / 2; & Y_1 = H_t / 2; \\ X_2 = -DlT_u / 2; & Y_1 = H_t / 2; \\ X_3 = -DlT_d / 2; & Y_1 = -H_t / 2; \\ X_4 = DlT_d / 2; & Y_1 = -H_t / 2; \end{cases}$$

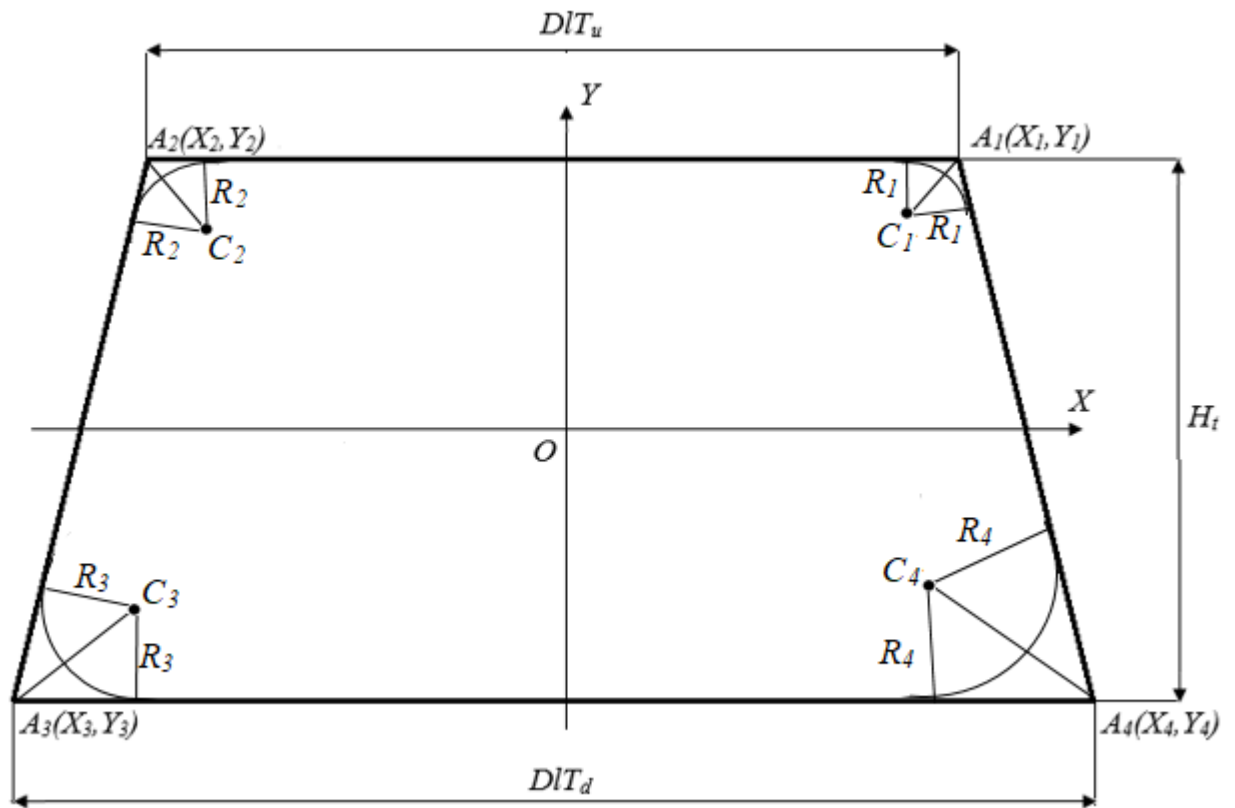


Рис. 2.7. Рівнобедрена трапеція та її параметри

Часто деталі шкіргалантереї представляють собою рівнобедрені трапеції зі спряженими дугами кіл кутами. Розглянемо задачу спряження будь-якого кута рівнобедреної трапеції заданої довжини нижньої  $DIT_d$  і верхньої основ трапеції  $DIT_u$  та висотою трапеції  $H_t$  дугою радіусу  $R_i$ ,  $i=1,2,3,4$  (рис.2.8). Для вирішення цієї задачі необхідно для кожного кута  $A_i$  рівнобедреної трапеції визначити координати центру кола  $C_i$  радіусу  $R_i$ , дугою якого буде спрягатися кут  $A_i$  та початковий  $\varphi_{b_i}$  і кінцевий  $\varphi_{e_i}$  кути для дуги спряження.

Для цього розглянемо наступну задачу: спрягти кут між векторами  $P_2P_1$  та  $P_2P_3$  дугою радіусу  $R$ . Вектори  $P_2P_1$  та  $P_2P_3$  задаються координатами вершин, тобто координатами точок  $P_1(Xp_1, Yp_1)$ ,  $P_2(Xp_2, Yp_2)$  та  $P_3(Xp_3, Yp_3)$ .

Тоді  $P_2P_1=(Xp_1- Xp_2, Yp_1- Yp_2)$ ,  $P_2P_3=(Xp_3- Xp_2, Yp_3- Yp_2)$ .



Очевидно, що центр кола радіусу  $R$ , дугою якого бути спрягатися кут між векторами  $P_2P_1$  та  $P_2P_3$ , буде завжди знаходитися на бісектрисі цього кута. Для визначення вектору  $P_2O$ , що знаходиться на бісектрисі цього кута, визначимо для векторів  $P_2P_1$  та  $P_2P_3$  одиничні вектори  $e_1$  та  $e_2$ , довжини яких дорівнюють одиниці. Матимемо:  $e_1=(Xe_1,Ye_1)=(Xp_1-Xp_2)/|P_2P_1|,(Yp_1-Yp_2)/|P_2P_1|$ ,

$$e_2=(Xe_2,Ye_2)=(Xp_3-Xp_2)/|P_2P_3|,(Yp_3-Yp_2)/|P_2P_3|,$$

$$\text{де } |P_2P_1|=\sqrt{(Xp_1-Xp_2)^2+(Yp_1-Yp_2)^2},$$

$$|P_2P_3|=\sqrt{(Xp_3-Xp_2)^2+(Yp_3-Yp_2)^2}.$$

Знайдемо векторів  $P_2O$  як суму векторів  $e_1$  та  $e_2$ .

Тоді  $P_2O = e_1 + e_2 = (Xe_1 + Xe_2, Ye_1 + Ye_2)$ . Знайдемо для вектора  $P_2O$  одиничні вектор  $e_3$ . Матимемо:  $e_3=(Xe_3,Ye_3)=(Xe_1+Xe_2)/|P_2O|,(Ye_1+Ye_2)/|P_2O|$ ,

$$\text{де } |P_2O|=\sqrt{(Xe_1+Xe_2)^2+(Ye_1+Ye_2)^2}.$$

Визначимо кут між векторами  $e_1$  та  $e_2$ . Для цього використаємо скалярний добуток цих векторів[106]. Матимемо:

$$(e_1e_2)=Xe_1Xe_2+Ye_1Ye_2=|e_1||e_2|\cos\theta.$$

Так як  $|e_1|=1$  та  $|e_2|=1$ , то  $\cos\theta=Xe_1Xe_2+Ye_1Ye_2$ . Звідси  $\theta=\arccos(Xe_1Xe_2+Ye_1Ye_2)$ .

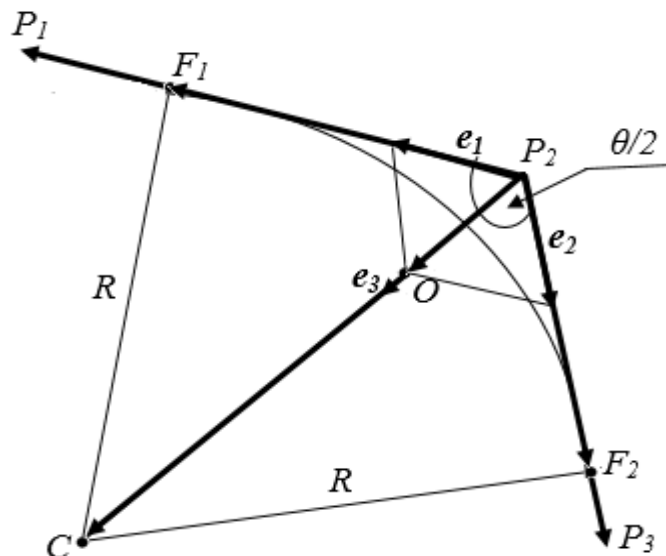


Рис. 2.8. Спряження кута між векторами  $P_2P_1$  та  $P_2P_3$  дугою радіусу  $R$

Розглянемо трикутник  $\theta$ . Це прямокутний трикутник. Сторона  $F_2C=R$ . Кут  $CP_2F_2=\theta/2$ . Тоді сторона  $CP_2=R\sin \theta/2$ ,  $CF_2=CP_2 \cos \theta/2$ .

Для однозначного визначення параметрів дуги радіусу  $R$ , яка спрягає кут між векторами  $P_2P_1$  та  $P_2P_3$  необхідно визначити координати центру кола  $C(X_c, Y_c)$  радіусу  $R$ , дугою якого спрягається визначений кут. Окрім того необхідно знати координати початкової  $F_1(X_{f1}, Y_{f1})$  та кінцевої точок  $F_2(X_{f2}, Y_{f2})$  спряженої дуги.

Визначимо координати центру кола  $C(X_c, Y_c)$  радіусу  $R$ , дугою якого спрягається кут між векторами  $P_2P_1$  та  $P_2P_3$ .

Розглянемо вектор  $P_2C(X_c-X_{p2}, Y_c-Y_{p2})$ . Він паралельний одинарному вектору  $e_3$ . Тоді  $P_2C=(X_c-X_{p2}, Y_c-Y_{p2})=|P_2C| e_3=|P_2C| (X_{e3}, Y_{e3})$ . Звідси маємо:

$$X_c=X_{p2}+|P_2C| X_{e3};$$

$$Y_c=Y_{p2}+|P_2C| Y_{e3}$$

По аналогії знайдемо координати початкової  $F_1(X_{f1}, Y_{f1})$  та кінцевої точок  $F_2(X_{f2}, Y_{f2})$  спряженої дуги. Матимемо:

$$X_{f1}=X_{p2}+|P_2F_1| X_{e1};$$

$$Y_{f1}=Y_{p2}+|P_2F_1| Y_{e1};$$

$$X_{f2}=X_{p2}+|P_2F_2| X_{e1};$$

$$Y_{f2}=Y_{p2}+|P_2F_2| Y_{e1};$$

Визначимо початковий  $\varphi_b$  та кінцевий  $\varphi_e$  кути для дуги спряження радіусу  $R$ . Так як координати точки початкова  $F_1(X_{f1}, Y_{f1})$  та кінцева точка  $F_2(X_{f2}, Y_{f2})$  спряженої дуги можна визначити наступним чином:

$$X_{f1}=R\cos \varphi_b+X_0; \quad Y_{f1}=R\sin \varphi_b+Y_0;$$

$$X_{f2}=R\cos \varphi_e+X_0; \quad Y_{f2}=R\sin \varphi_e+Y_0;$$

то 
$$\cos \varphi_b=(X_{f1}-X_0)/R; \quad \sin \varphi_b=(Y_{f1}-Y_0)/R;$$

$$\cos \varphi_e=(X_{f2}-X_0)/R; \quad \sin \varphi_e=(Y_{f2}-Y_0)/R.$$

Знаючи  $\cos \varphi_b$ ,  $\sin \varphi_b$ ,  $\cos \varphi_e$ ,  $\sin \varphi_e$  легко однозначно визначити початковий  $\varphi_b$  та кінцевий  $\varphi_e$  кути для дуги спряження радіусу  $R$ .

Тоді шукану дугу спряження радіусу  $R$  із заданою точністю  $\varepsilon$  можна ломаною лінією, координати якої визначаються наступним чином:

$$Xd_i = R \cos(i(\varphi_e - \varphi_b)/N + \varphi_b) + X_0;$$

$$Yd_i = R \sin(i(\varphi_e - \varphi_b)/N + \varphi_b) + Y_0; \quad i=0, 1, 2 \dots N,$$

де

$$N \geq \frac{\varphi_e - \varphi_b}{2 \arccos(1 - \frac{\varepsilon}{R_i})}.$$

### 2.1.2. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів деталей шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента

Розглянемо деталі шкіргалантереї, які можна представити у вигляді комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який знаходиться зовні цієї трапеції (рис 2.9-2.10), тобто  $D = T \cup S$ , де  $D$  – деталь,  $T$  – трапеція,  $S$  – сегмент кола.

Для створення параметричної моделі деталі шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$  достатньо знати наступні параметри структурних компонентів цієї деталі, а саме (див. рис. 2.10):

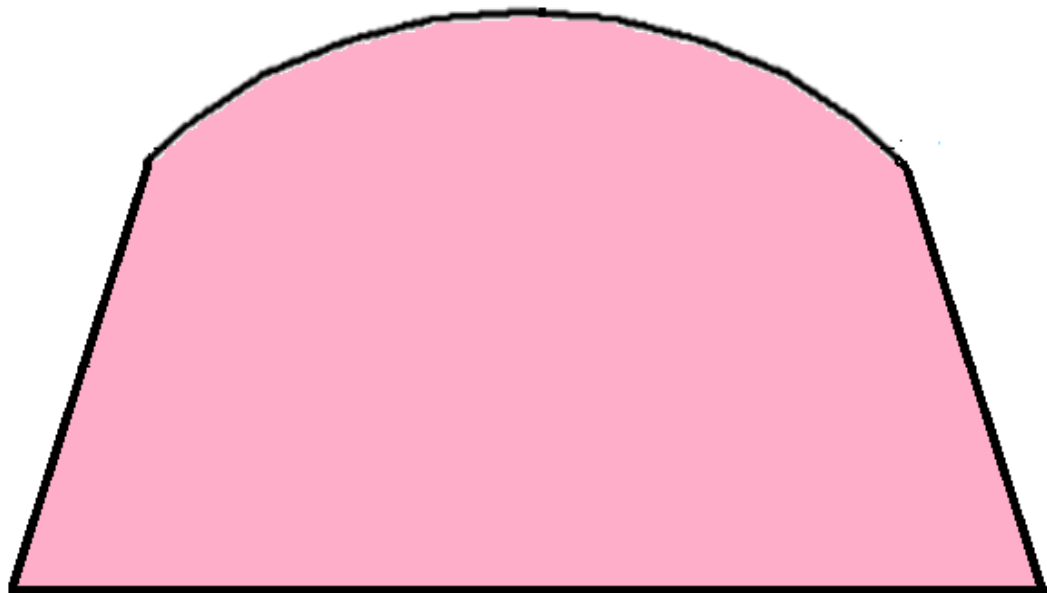


Рис. 2.9. Деталь шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який знаходиться зовні цієї трапеції

- $DlT_d$  : довжина нижньої основи рівнобедреної трапеції, яка є складовою частиною деталі шкіргалантереї;
- $DlT_u$  : довжина верхньої основи рівнобедреної трапеції, яка є складовою частиною деталі шкіргалантереї;
- $ShT$ : висота рівнобедреної трапеції, який є складовою частиною деталі шкіргалантереї;

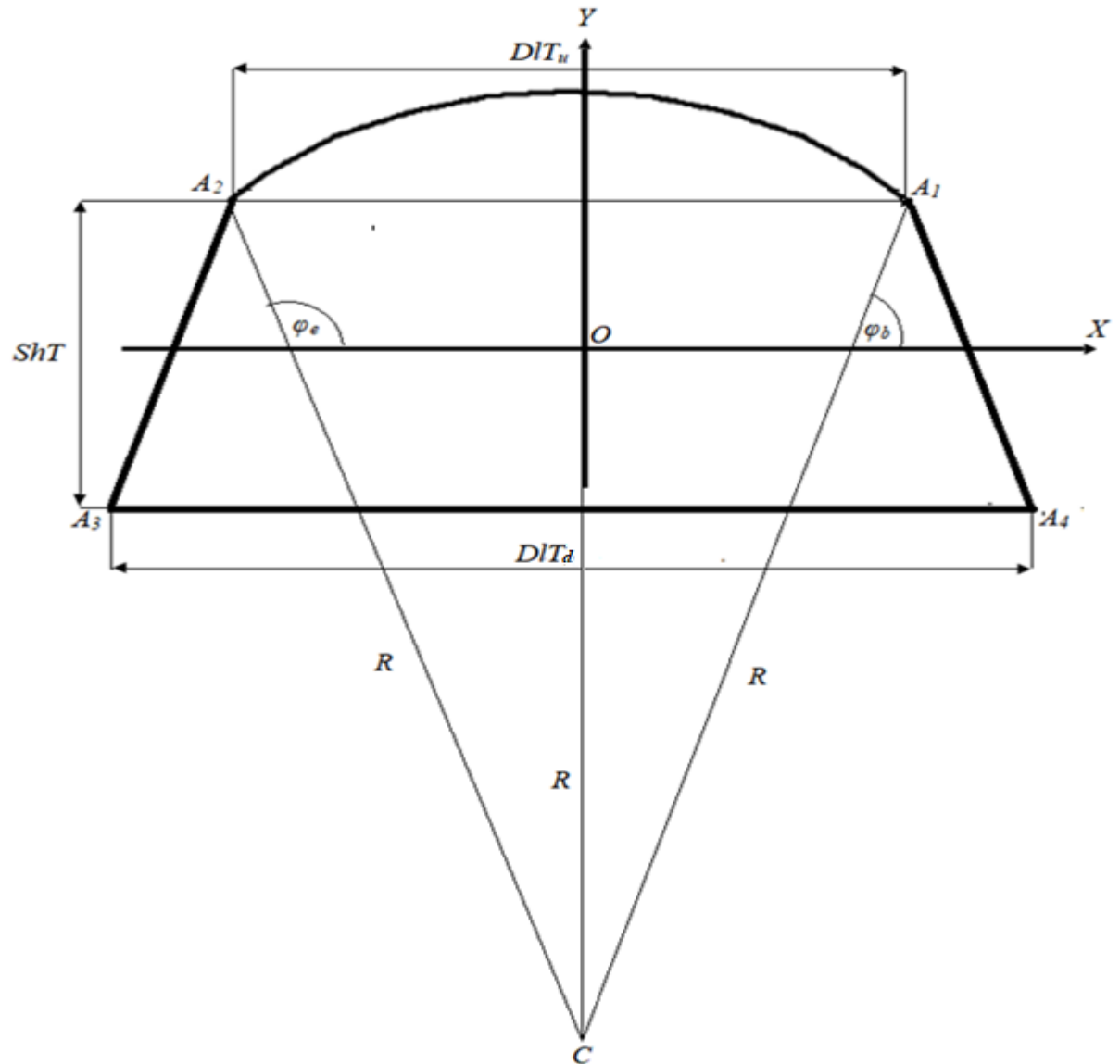


Рис. 2.10. Визначення параметрів деталі шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який знаходиться зовні цієї трапеції

На основі цих параметрів нам необхідно визначити декілька додаткових параметрів, які будуть необхідні для створення параметричної моделі цієї деталі, а саме (див. рис. 2.10):

- радіус кола  $R$  для заданого сегменту кола висотою  $h$ ;
- координати центру  $C(X_c, Y_c)$  кола для заданого сегменту кола висотою  $h$ ;
- початковий кут  $\varphi_b$  дуги кола, яка описує зовнішній контур сегменту кола висотою  $h$ ;
- кінцевий кут  $\varphi_e$  дуги кола, яка описує зовнішній контур сегменту кола висотою  $h$ .

Радіус кола  $R$  для сегменту кола висотою  $h$ , який знаходиться зовні цієї трапеції, знаходиться аналогічно радіусу кола  $R$  для сегменту кола висотою  $h$ , що знаходиться зовні цього прямокутника і дорівнює:  $R = (4h^2 - DLP^2)/(8h)$ .

Визначимо це невідомі параметри сегмента кола, що є складової цієї деталі шкіргалантереї на основі комбінації прямокутника та сегмента кола заданої висоти  $h$ , а саме:

- координати центру кола  $C(X_c, Y_c)$ , до якого належить компонент нашої деталі, а саме сегмент кола;
- початковий  $\varphi_b$  та кінцеві кути  $\varphi_e$  дуги кола, що відображає зовнішній контур сегменту кола.

Із рисунку рис. 2.8 очевидно, що  $X_c = 0$ ;  $Y_c = ShT_w/2 + h - R$ .

Початковий  $\varphi_b$  та кінцеві кути  $\varphi_e$  дуги кола, що відображає зовнішній контур сегменту кола визначається аналогічно як для комбінації прямокутника та дуги що відображає зовнішній контур сегменту кола, а саме:

$$\cos \varphi_b = |BC|/|CA_1| = (R - h)/R;$$

$$\sin \varphi_b = |BA_1|/|CA_1| = DLP/(2R).$$

Знаючи  $\cos \varphi_b$  та  $\sin \varphi_b$  легко однозначно визначити кут  $\varphi_b$ . Як видно із рис. 2.4 сума кутів  $\varphi_b$  та  $\varphi_e$  дорівнює  $\pi$ , тобто  $\varphi_b + \varphi_e = \pi$ . Звідси маємо:  $\varphi_e = \pi - \varphi_b$ .

Тоді параметричну модель зовнішнього контуру деталі шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який знаходиться зовні цього трапеції можна представити координатами вершин  $(Xts_i, Yts_i)$ ,  $i=1,2,..N+3$  на зовнішньому конурі цієї деталі наступним чином:

$$\begin{cases} Xts_i = R \cdot \cos(\varphi_b + \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N} \cdot (i-1)) + Xc; \\ Yts_i = R \cdot \sin(\varphi_b + \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N} \cdot (i-1)) + Yc \end{cases}, \text{ де } i=1,2..N;$$

$$\begin{cases} Xts_{N+1} = -DlT_d / 2; & Yts_{N+1} = -ShT / 2; \\ Xts_{N+2} = DlT_d / 2; & Yts_{N+2} = -ShT / 2; \\ Xts_{N+3} = -DlT_u / 2; & Yts_{N+3} = ShT / 2; \end{cases}$$

$$\text{де : } N \geq \frac{\varphi_e - \varphi_b}{2 \arccos(1 - \frac{\varepsilon}{R})}$$

Розглянемо деталі шкіргалантереї, які можна представити у вигляді комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який належить цій трапеції (рис 2.11-2.12), тобто  $D=T \cap S$ , де  $D$ —деталь,  $T$ —трапеція,  $S$ —сегмент кола.

Для створення параметричної моделі деталі шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$  достатньо знати наступні параметри структурних компонентів цієї деталі, а саме(див. рис. 2.12):

- $DlT_d$  : довжина нижньої основи рівнобедреної трапеції, яка є складовою частиною деталі шкіргалантереї;
- $DlT_u$  : довжина верхньої основи рівнобедреної трапеції, яка є складовою частиною деталі шкіргалантереї;
- $ShT$ : висота рівнобедреної трапеції, який є складовою частиною деталі шкіргалантереї;

$h$ : висота сегменту кола  $h$ .

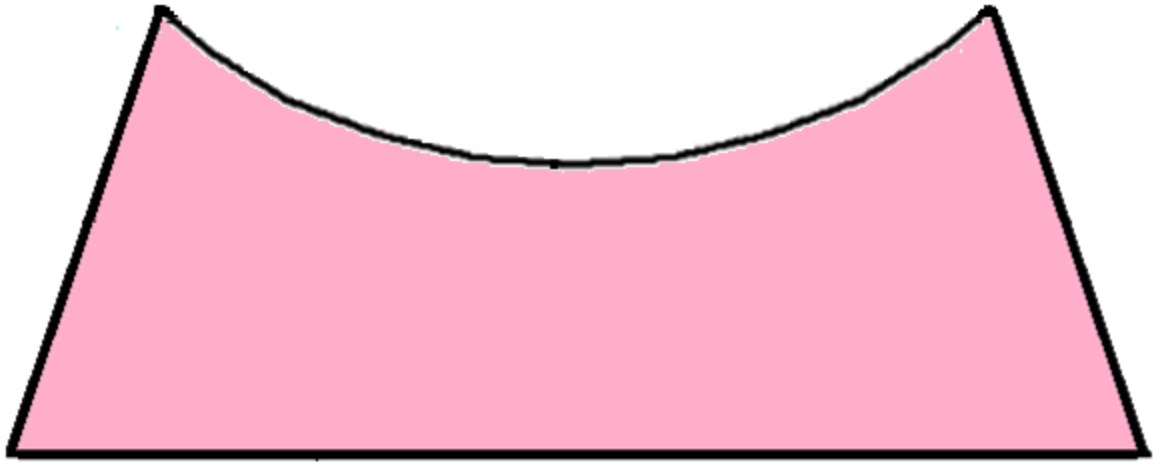


Рис. 2.11. Деталь шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який належить цій трапеції

На основі цих параметрів нам необхідно визначити декілька додаткових параметрів, які будуть необхідні для створення параметричної моделі цієї деталі, а саме (див. рис. 2.11):

- радіус кола  $R$  для заданого сегменту кола висотою  $h$ ;
- координати центру  $C(X_c, Y_c)$  кола для заданого сегменту кола висотою  $h$ ;
- початковий кут  $\varphi_b$  дуги кола, яка описує зовнішній контур сегменту кола висотою  $h$ ;
- кінцевий кут  $\varphi_e$  дуги кола, яка описує зовнішній контур сегменту кола висотою  $h$ .

Радіус кола  $R$  для сегменту кола висотою  $h$ , який належить цій трапеції, знаходиться аналогічно радіусу кола  $R$  для сегменту кола висотою  $h$ , що знаходиться зовні цього прямокутника і дорівнює:  $R = (4h^2 - D^2) / (8h)$ .

Визначимо координати центру кола  $C(X_c, Y_c)$ , до якого належить компонент нашої деталі, а саме сегмент кола. Із рисунку рис. 2.10 очевидно, що  $X_c = 0$ ;  $Y_c = R + ShT/2 - h$ .

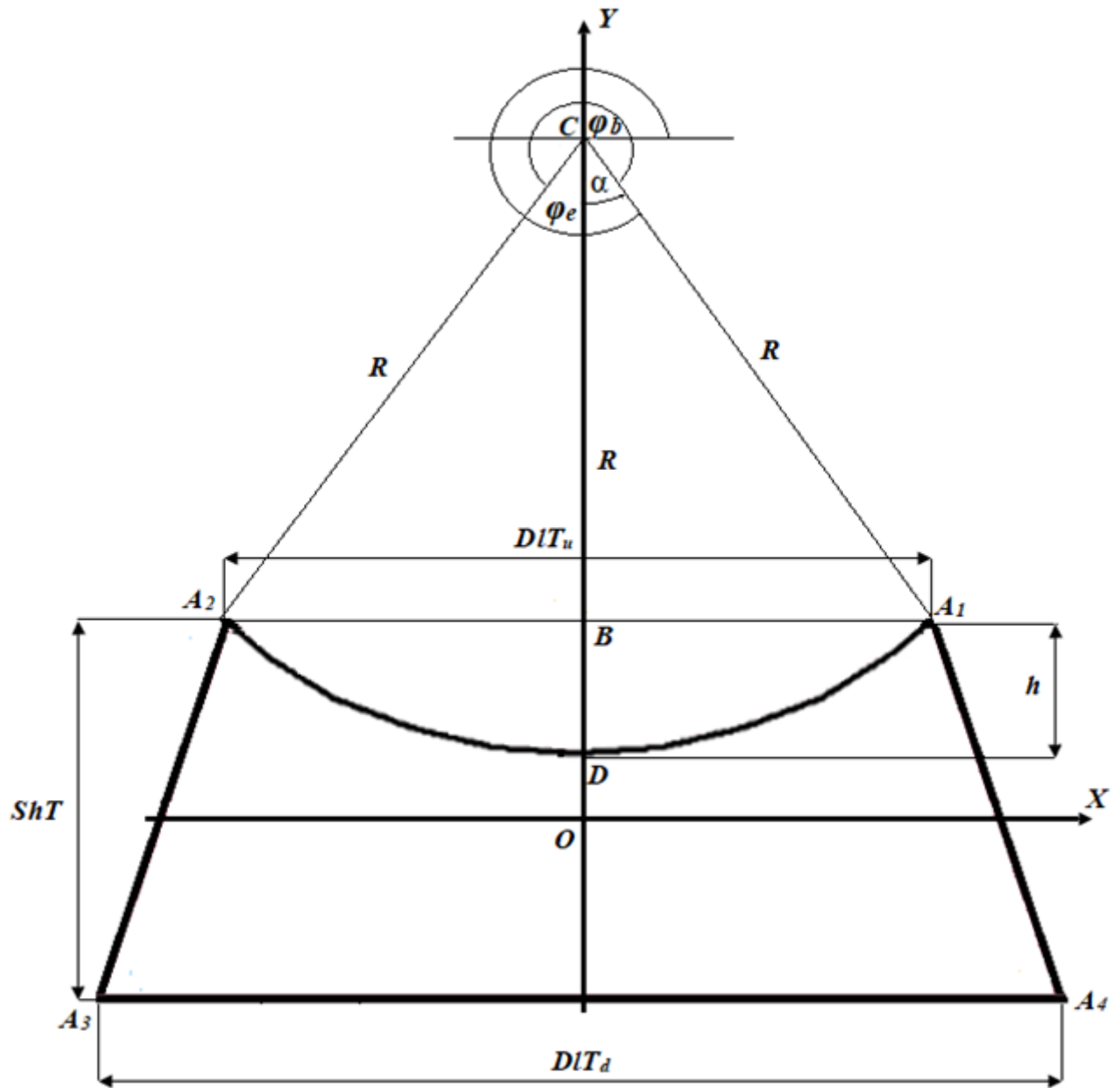


Рис. 2.12. Визначення параметрів деталі шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який належить цій трапеції

Початковий  $\varphi_b$  та кінцеві кути  $\varphi_e$  дуги кола, що відображає зовнішній контур сегменту кола, що є складовою деталі та належить трапеції, визначається аналогічно початковому  $\varphi_b$  та кінцевому кутам  $\varphi_e$  дуги кола, що відображає зовнішній контур сегменту кола, що є складовою деталі та належить прямокутнику.



Тоді параметричну модель зовнішнього конуру деталі шкіргалантереї на основі комбінації рівнобедреної трапеції та сегмента кола заданої висоти  $h$ , який належить цій трапеції можна представити координатами вершин  $(Xts_i, Yts_i)$ ,  $i=1,2,..N+3$  на зовнішньому конурі цієї деталі наступним чином (див. рис.2.12):

$$\begin{cases} Xts_i = R \cdot \cos(\varphi_b + \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N} \cdot (i-1)) + Xc; \\ Yts_i = R \cdot \sin(\varphi_b + \frac{\varphi_e - \varphi_b}{N} \cdot (i-1)) + Yc \end{cases}, \text{ де } i=1,2..N;$$

$$\begin{cases} Xts_{N+1} = Dlt_d / 2; & Yts_{N+1} = -ShT / 2; \\ Xts_{N+2} = -Dlt_d / 2; & Yts_{N+2} = -ShT / 2; \\ Xts_{N+3} = -Dlt_u / 2; & Yts_{N+3} = ShT / 2; \end{cases}$$

$$\text{де : } N \geq \frac{\varphi_e - \varphi_b}{2 \arccos(1 - \frac{\varepsilon}{R})}$$

### **2.2.3. Побудова параметричних моделей зовнішніх контурів на основі прямокутної трапеції та спряженням кутів цієї трапеції дугою кола заданого радіусу**

Для однозначного визначення параметричної моделі прямокутної трапеції заданої довжини нижньої і верхньої основ трапеції та висотою трапеції достатньо знайти залежності координат її вершин від довжини нижньої і верхньої основ трапеції та висоти трапеції та з якої сторони цієї трапеції буде прямий кут(ліворуч (рис.2.13.а) чи праворуч (рис.2.13.б)).

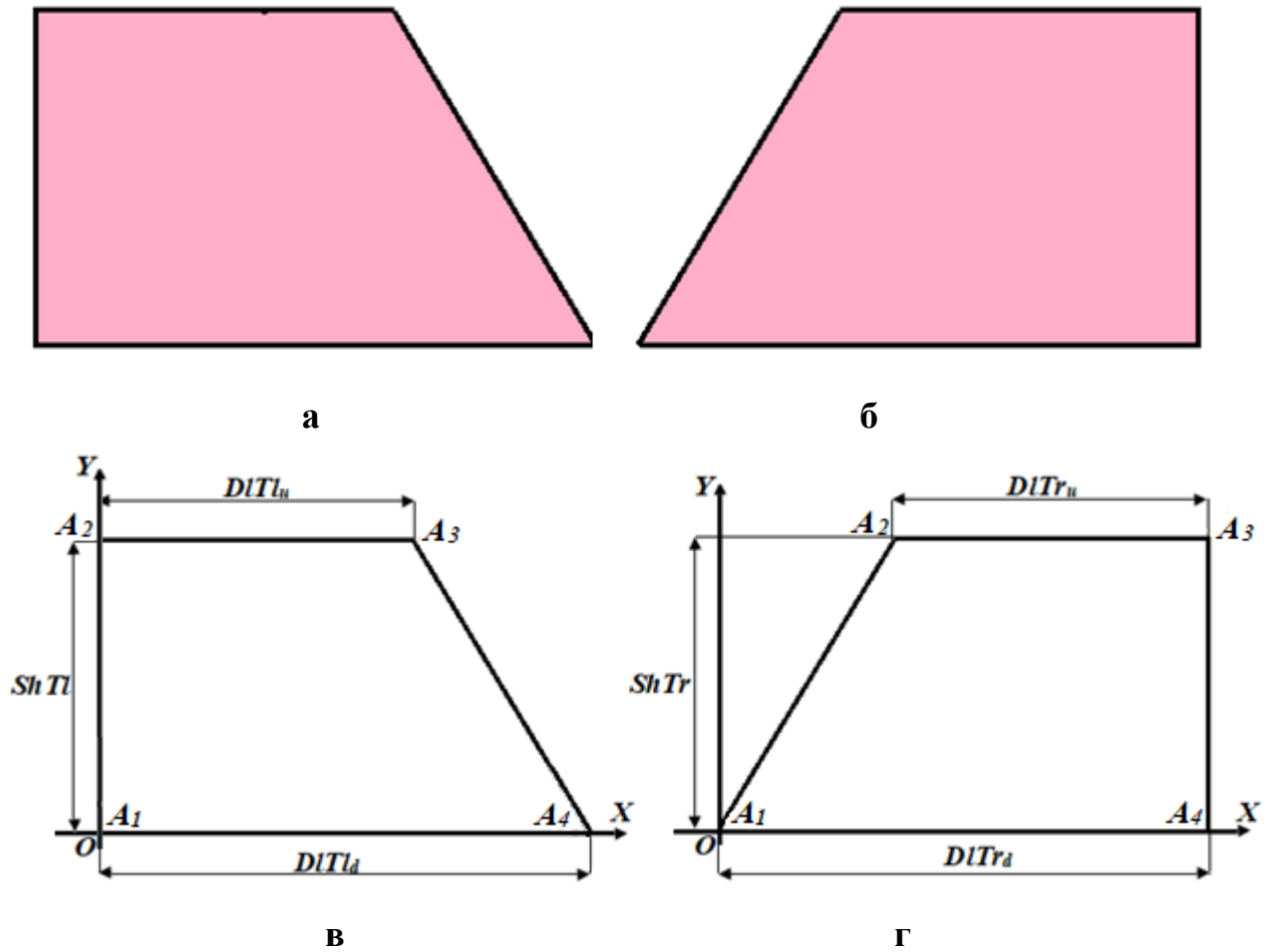


Рис. 2.13. Прямокутна трапеція та її параметри

Нехай для прямокутної трапеції з прямим кутом ліворуч (рис. 2.7.в) довжина нижньої основи дорівнює  $DITl_d$ , довжина верхньої основи дорівнює  $DITl_u$  та висотою цієї трапеції дорівнює  $ShTl_u$ . Тоді, якщо центр прямокутної системи знаходиться в точці  $A_1$ , то цю залежність для вершин  $A_1(X_1, Y_1)$ ,  $A_2(X_2, Y_2)$ ,  $A_3(X_3, Y_3)$ ,  $A_4(X_4, Y_4)$  можна представити наступним чином:

$$\begin{cases} X_1 = 0; & Y_1 = 0; \\ X_2 = 0 & Y_1 = ShTl; \\ X_3 = DITl_u; & Y_1 = ShTl; \\ X_4 = DITl_d; & Y_1 = 0; \end{cases}$$

Нехай для прямокутної трапеції з прямим кутом праворуч (рис. 2.7.г) довжина нижньої основи дорівнює  $DlTr_d$ , довжина верхньої основи дорівнює  $DlTr_u$  та висотою цієї трапеції дорівнює  $ShTr_u$ . Тоді, якщо центр прямокутної системи знаходиться в точці  $A_1$ , то цю залежність для вершин  $A_1(X_1, Y_1)$ ,  $A_2(X_2, Y_2)$ ,  $A_3(X_3, Y_3)$ ,  $A_4(X_4, Y_4)$  можна представити наступним чином:

$$\begin{cases} X_1 = 0; & Y_1 = 0; \\ X_2 = DlTr_d - DlTr_u & Y_1 = ShTr; \\ X_3 = DlTr_u; & Y_1 = ShTr; \\ X_4 = DlTr_d; & Y_1 = 0; \end{cases}$$

Спряження кутів для прямокутної трапеції відбувається аналогічно спряженню кутів у прямокутнику та у рівнобедреної трапеції. Якщо кут у прямокутної трапеції, що потрібно спрягти дугою заданого радіусу прямиї, то застосовуємо алгоритм для спряження кута в прямокутнику, інакше застосовуємо алгоритм для спряження кута у рівнобедреної трапеції.

### 2.3. Структурна схема автоматизованої підготовки інформації про зовнішні контури деталей шкіргалантереї

На рис. 2.14 представлені основні складові частини автоматизованої підготовки інформації про зовнішні контури деталей шкіргалантереї, а саме:

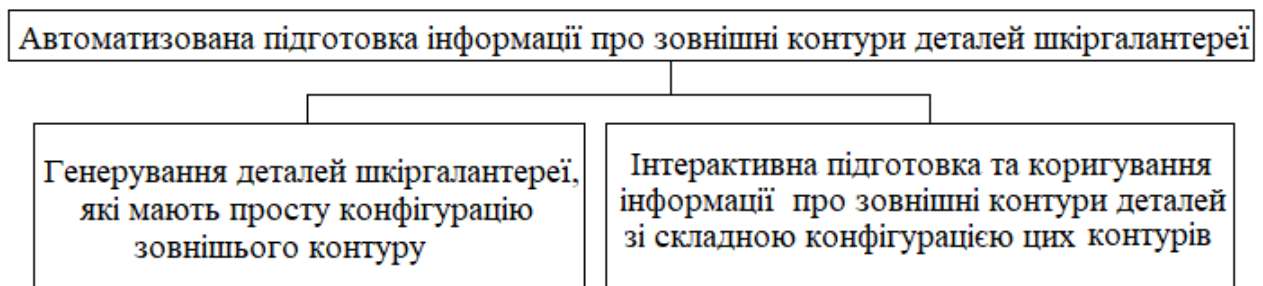


Рис. 2.14. Складові частини автоматизованої підготовки інформації про зовнішні контури деталей шкіргалантереї

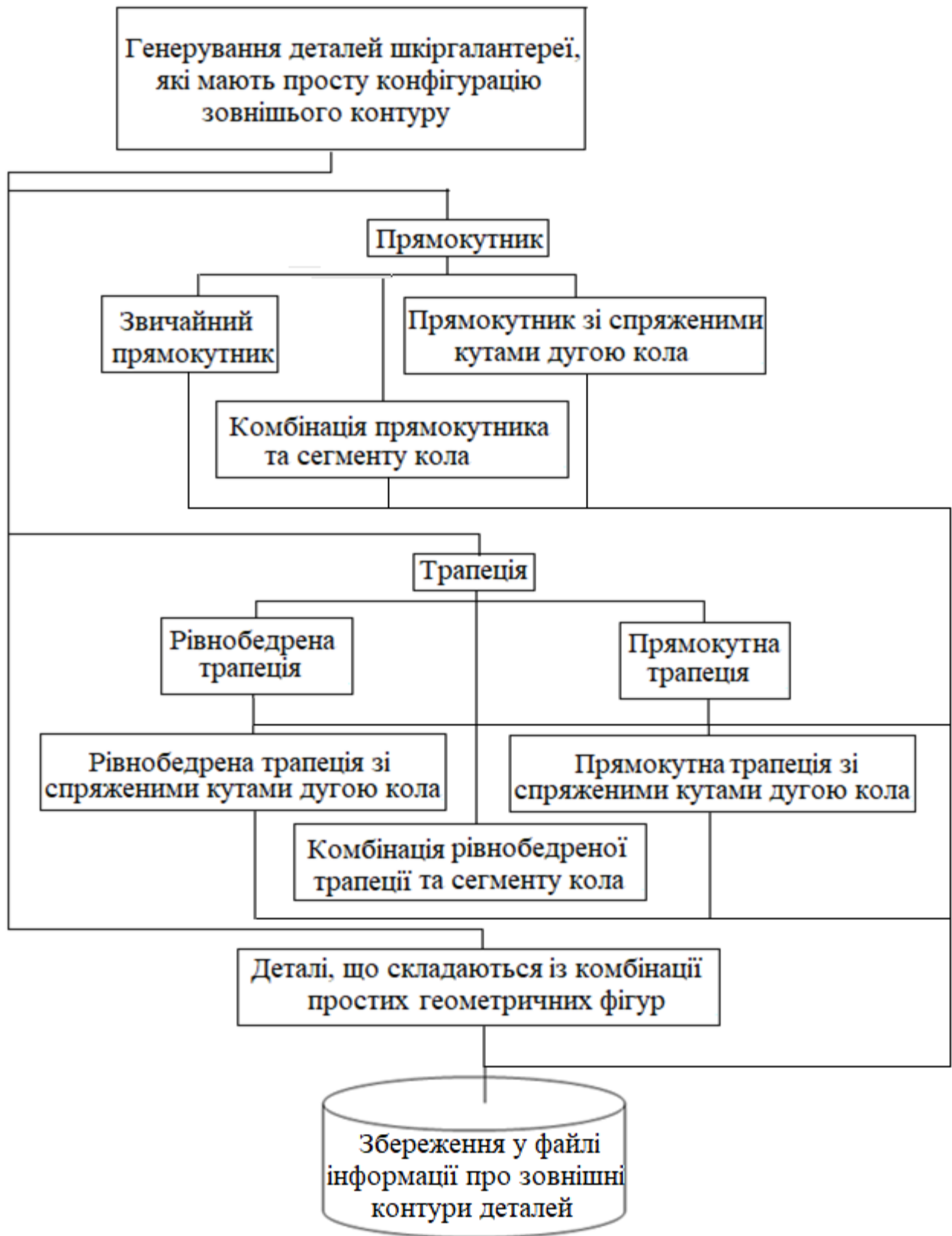


Рис. 2.15. Структурна схема генерування деталей шкіргалантереї, які мають просту конфігурацію зовнішнього контуру

- генерування деталей шкіргалантереї, які мають просту конфігурацію зовнішнього контуру;
- інтерактивна підготовка та коригування інформації про зовнішні контури деталей зі складною конфігурацією цих контурів.

Зупинимось більш детально на кожній із цих складових частин автоматизованої підготовки інформації про зовнішні контури деталей шкіргалантереї.

Структурна схема генерування деталей шкіргалантереї, які мають просту конфігурацію зовнішнього контуру представлена на рис. 2.15. В ній можна виділити три незалежні структурні одиниці, а саме:

- генерування деталей прямокутної форми;
- генерування деталей трапецеїдальної форми;
- генерування деталей, що складаються із комбінації простих геометричних фігур.

Генерування деталей прямокутної форми містить в собі три складові частини, а саме:

- генерування деталей, що представляють собою прямокутник;
- генерування деталей, що представляють собою прямокутник зі спряженими кутами дугами необхідного радіусу;
- генерування деталей, що представляють собою комбінацію прямокутника та сегменту кола заданої висоти.

Генерування деталей трапецеїдальної форми містить в собі чотири складові частини, а саме:

- генерування деталей, що представляють собою рівнобедрену трапецію;
- генерування деталей, що представляють собою рівнобедрену трапецію зі спряженими кутами дугами необхідного радіусу;
- генерування деталей, що представляють собою прямокутну трапецію;

- генерування деталей, що представляють собою прямокутну трапецію зі спряженими кутами дугами необхідного радіусу;

- генерування деталей, що представляють собою комбінацію рівнобедреної трапеції та сегменту кола заданої висоти.

Генерування деталей, що представляють собою комбінацію простих геометричних фігур містить в собі три складові частини, а саме:

- генерування деталей, що представляють собою просту геометричну фігуру, окрім прямокутника та трапеції;
- генерування деталей, що представляють собою комбінацію двох простих геометричних фігур;
- генерування деталей, що представляють собою комбінацію трьох простих геометричних фігур.

Параметричні моделі деталей, що представляють собою комбінацію простих геометричних фігур, детально розглянуті в роботах [ 107-116 ] і ми їх адаптували у своєю програмному продукту для генерування деталей шкіргалантереї, які мають просту конфігурацію зовнішнього контуру. Тому ми на них зупинятись не будимо.

Можливі варіанти згенерованих деталей шкіргалантереї на основі прямокутника та трапеції представлені на рис. 2.16.

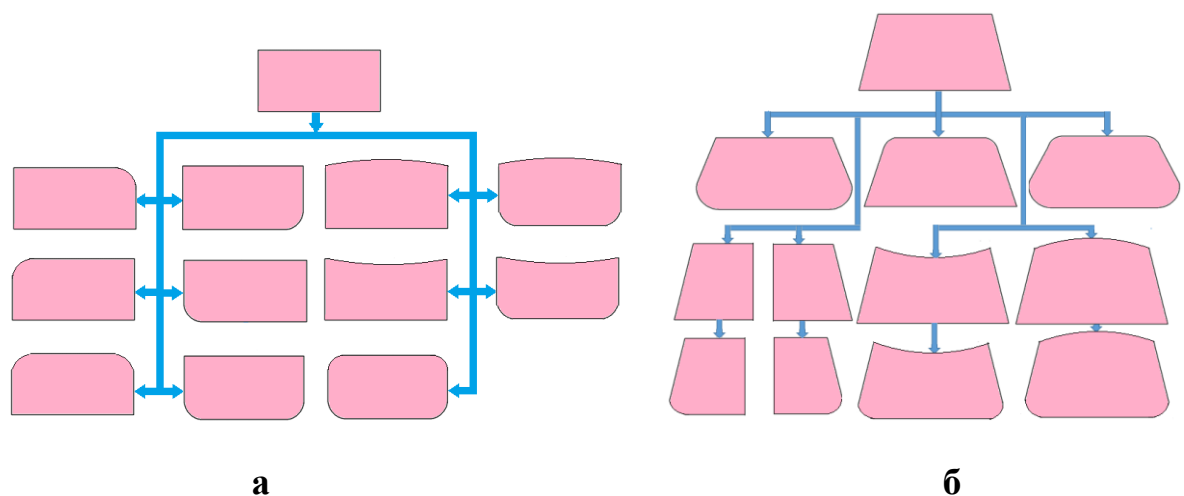


Рис. 2.16. Можливі варіанти згенерованих деталей шкіргалантереї на основі: а – прямокутника; б) трапеції

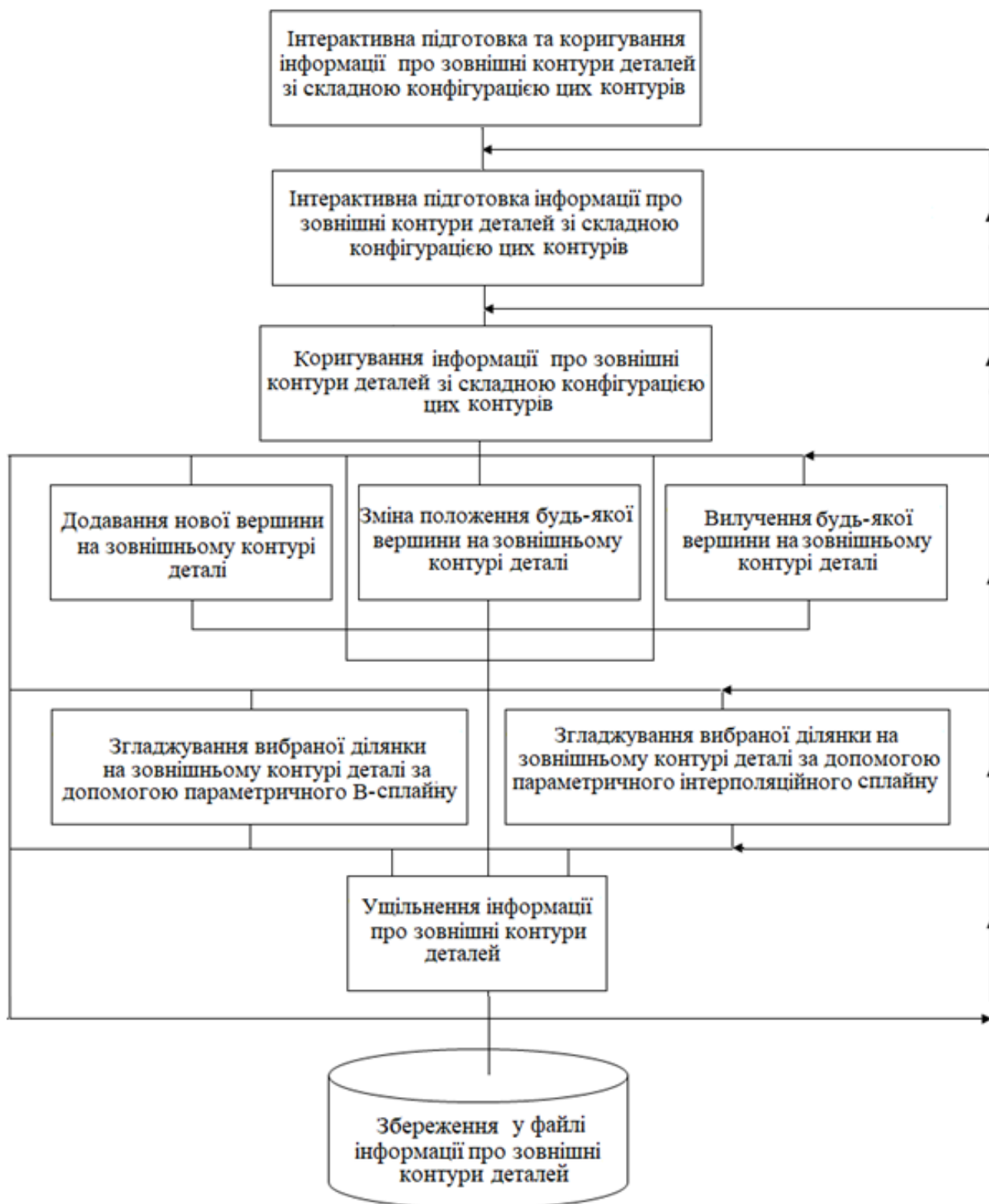


Рис. 2.17. Структурна схема інтерактивної підготовки та коригування інформації про деталі зовнішнього контуру шкіргалантереї, які мають складну конфігурацію цих контурів

Структурна схема інтерактивної підготовки та коригування інформації про деталей зовнішнього контуру шкіргалантереї, які мають складну конфігурацію цих контурів представлена на рис. 2.17.

В ній можна виділити дві структурні одиниці(рис.2.17), а саме:

- підготовки інформації про деталей зовнішнього контуру шкіргалантереї, які мають складну конфігурацію цих контурів;
- коригування інформації про деталей зовнішнього контуру шкіргалантереї, які мають складну конфігурацію цих контурів.

В коригування інформації про деталей зовнішнього контуру деталі шкіргалантереї, які мають складну конфігурацію цих контурів, можна виділити дві структурні одиниці:

- додавання нової вершини на зовнішнього контуру деталі шкіргалантереї;
- зміна положення активної вершини на зовнішнього контуру деталі шкіргалантереї;
- вилучення активної вершини на зовнішнього контуру деталі шкіргалантереї;
- згладжування активної ділянки на зовнішньому контурі деталі шкіргалантереї за допомогою параметричного В-сплайну;
- згладжування активної ділянки на зовнішньому контурі деталі шкіргалантереї за допомогою параметричного інтерполяційного сплайну;
- ущільнення інформації про зовнішній контур деталі шкіргалантереї.

Всі ці режими інтерактивного коригування детально розглянуті в роботах [117-121] і ми їх адаптували у своєму програмному продукту для коригування інформації про деталей зовнішнього контуру деталі шкіргалантереї, які мають складну конфігурацію цих контурів Тому ми на них зупинятись не будемо.



### **Висновки до другого розділу**

1. Аналіз деталей шкіргалантерейних виробів показав, що більшість деталей є шкіргалантерейних виробів можна представити як прямокутник та трапецію та їх модифікації.
2. Запропоновані параметричні моделі деталей шкіргалантерейних виробів на основі прямокутника та трапеції та їх модифікації за параметрами деталей. Це дозволило однозначно описати ці деталі.
3. Запропоновані параметричні моделі деталей шкіргалантерейних виробів на основі прямокутника та трапеції дозволили однозначно генерувати ці деталі в автоматичному режимі.
4. Запропонована модель автоматизованої підготовки інформації про зовнішні контури деталей шкіргалантереї, яка була реалізована в програмному продукті, який дозволяє підготувати інформацію про деталі шкіргалантереї, яка необхідна для автоматизованої побудови раціональних схем розкрою матеріалу для деталей шкіргалантерейного виробу.

### 3. ПРОЄКТУВАННЯ СХЕМ РОЗКРОЮ МАТЕРІАЛІВ ПРЯМОКУТНОЇ ФОРМИ НА ДЕТАЛІ ГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ

#### 3.1. Постановка задачі автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів

##### *Технологічна постановка задачі.*

Маємо прямокутну область заданої довжини  $Dl\_M$  та ширини  $Sh\_M$ . На ній необхідно розмістити  $Q$  комплектів деталей  $S^k$ ,  $k=1,2\dots q$  враховуючи те, що схема розкрою мала мінімальну довжину  $DlR\_S$ . При цьому необхідно врахувати наступні технологічні обмеження: деталь в розкрійній схемі може бути в базовому положенні або повернута на 180 градусів.

##### *Математична постановка задачі.*

Для прямокутної області заданою довжиною  $Dl\_M$  та шириною  $Sh\_M$  серед згенерованих розкрійних схем для  $R$  комплектів деталей  $S^k$ ,  $k=1,2\dots q$  визначити ту, довжина якої  $DlR\_Sx_i$ , була б мінімальною, тобто для якої

$$DlR\_S = \min_{i=1,2,\dots,t} (DlR\_Sx_i).$$

При цьому необхідно врахувати орієнтацію деталей в розкрійній схемі: 0 та 180 градусів відносно базового положення деталей.

За базові одиниці в розкрійній схемі будемо вважати розкладки та секції [64]. На рис. 3.1 представлені можливі варіанти розкладок. На рис. 3.2 показані можливі варіанти секцій.

##### **Базова одиниця: Розкладка.**

Розкладка — це конкретний спосіб розміщення деталей на матеріалі, з метою максимального використання матеріалу та мінімізації відходів.

Секції: Секції складаються із допустимих розкладок. Це означає, що кожна секція є сукупністю розкладок, які відповідають певним критеріям або обмеженням (наприклад, розміщення без перекриття, врахування відступів тощо).

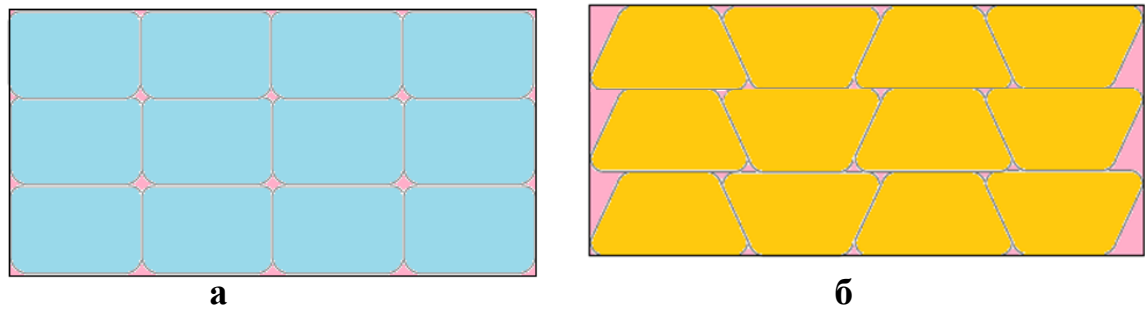


Рис. 3.1. Приклади розкладок: а – розкладка без повороту деталей в ряду; б – розкладка з поворотом деталей на  $180^0$  в ряду

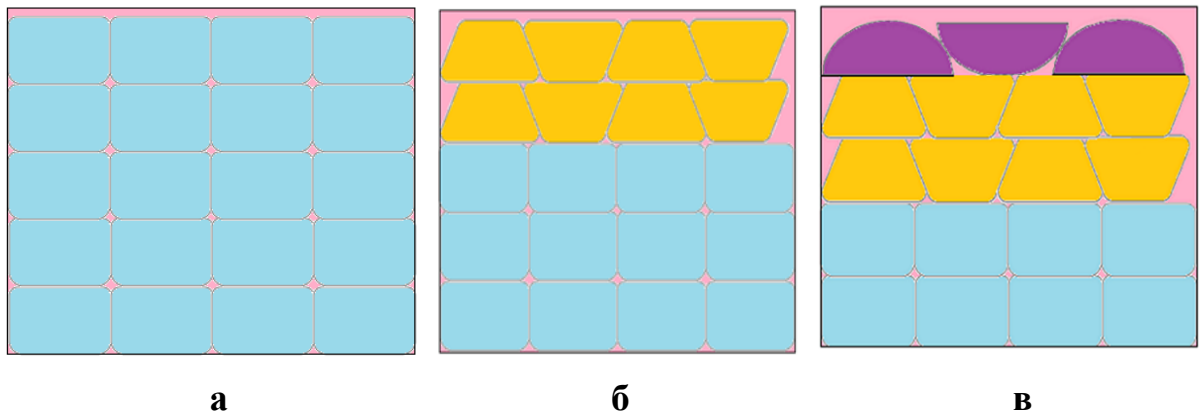


Рис. 3.2. Приклади секцій: а – секція, що складається із однієї розкладки; б – секція, що представляє собою комбінацію двох розкладок; в – секція, що представляє собою комбінацію трьох розкладок

### Схема розкрою:

Допустима схема розкрою складається з допустимих секцій. Тобто, схема розкрою — це сукупність секцій, які разом утворюють оптимальне або близьке до оптимального розташування всіх необхідних деталей на матеріалі.

Таким чином, можна сказати, що схема розкрою включає кілька секцій, кожна з яких, у свою чергу, включає кілька розкладок. Усі ці компоненти повинні відповідати певним критеріям, щоб вважатися допустимими.

### 3.2. Структурні компоненти задачі проєктування схем розкрою матеріалів, що мають прямокутну форму, на галантерейні деталі.

В задачі комп'ютерного проєктування розкрійних схем матеріалів, що мають прямокутну форму, на галантерейні деталі виділимо наступні структурні компоненти:

#### 3.2.1. Задача «Розкладка»

Для побудови розкладок для деталей  $S^k$ , де  $k=1,2,..q$  використаємо прямокутну одинарну решітку  $\lambda^k : n\bar{a}_1^k + m\bar{a}_2^k$ , та подвійну решітку [65]  $W^k : n\bar{a}_1^k + m\bar{a}_2^k + p\bar{q}$ , де  $n=0,1,2,..n_{kt}$ ,  $m=0,1,2,..m_{kt}$ ,  $p=0,1$ . У такому випадку можливі варіанти розкладок  $R_{kt}$  аналітично можна представити наступною умовою:  $n_{kt} \cdot m_{kt} \leq N^k$ , де  $N^k$  – це загальна потреба у деталях типу  $S^k$  для заданої схеми розкрою,  $n_{kt}$  – позначає фактичну кількість деталей  $S^k$  в одному ряду та  $m_{kt}$  – кількість рядів в розкладці  $R_{kt}$ ,  $t=1,2,...t_k$ .

Розкладку деталей можна описати за допомогою математичної моделі у вигляді одинарної або подвійної прямокутної решітки. Завдання побудови допустимих варіантів розкладок зводиться до наступного: маючи дані про зовнішній контур плоского геометричного об'єкта, необхідно визначити параметри решіток — а саме координати полюса для довільної деталі та вектори, що формують структуру розміщення. Для одинарної решітки це два вектори  $\mathbf{a}_1$  та  $\mathbf{a}_2$ , які задають відстані між однаково орієнтованими деталями по горизонталі й вертикалі. У випадку з подвійною решіткою, окрім векторів  $\vec{a}_1$  та  $\vec{a}_2$ , додається ще й вектор зсуву  $\vec{q}$ , що відповідає за розміщення деталей, повернутих на  $180^\circ$  відносно базової деталі (рис. 3.4–3.5).

Оскільки для моделювання розкладки використовується прямокутна решітка, вектори  $\vec{a}_1$  та  $\vec{a}_2$  повинні бути взаємно перпендикулярними, при цьому кожен з них спрямований уздовж відповідної координатної осі. (рис. 3.4-3.5).

У випадку одинарної решітки ряди, що складаються з ідентичних і однаково орієнтованих деталей, розміщуються уздовж координатних осей  $OX$  та  $OY$  (рис. 3.3).

Якщо вектор  $\vec{a}_1$  спрямований уздовж осі  $OY$ , то ряди однакових і однаково орієнтованих деталей формуються у напрямку цієї осі. Водночас уздовж осі  $OX$  розташовуються ряди, в яких чергуються деталі у базовому положенні та повернуті на  $180^\circ$  відносно нього. (рис. 3.4.).

У разі, коли вектор  $\vec{a}_1$  орієнтований уздовж осі  $OX$ , ряди ідентичних і однаково орієнтованих деталей розміщуються у напрямку цієї осі. Водночас по осі  $OY$  утворюються ряди, в яких чергуються деталі у початковому положенні з деталями, повернутими на  $180^\circ$  відносно базової орієнтації. (рис. 3.5).

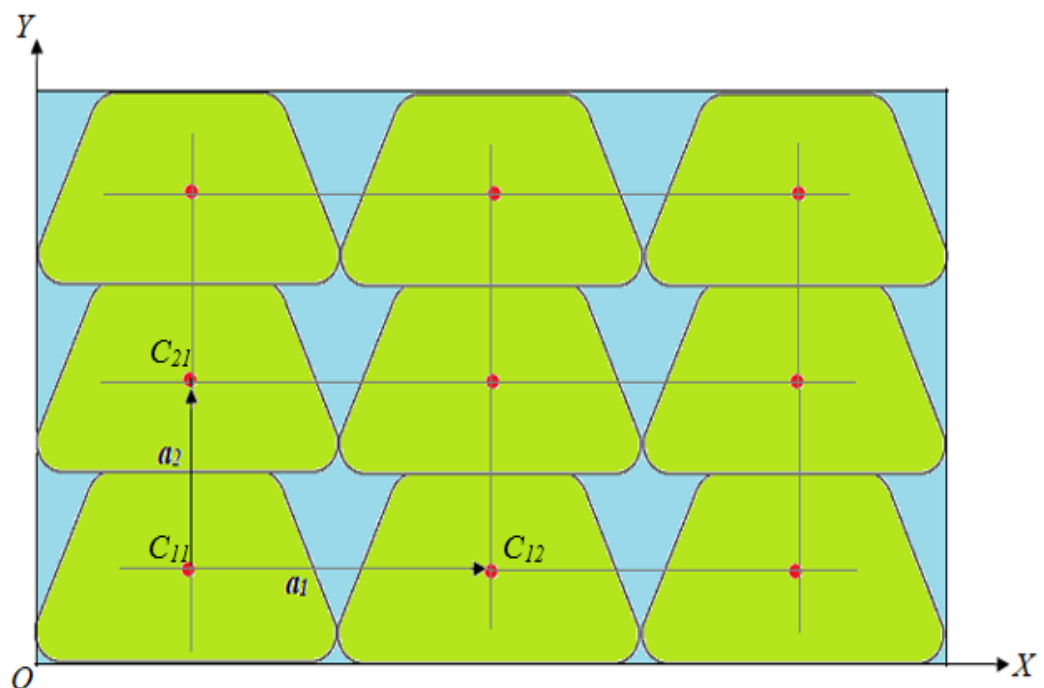


Рис. 3.3. Одинарна решітки

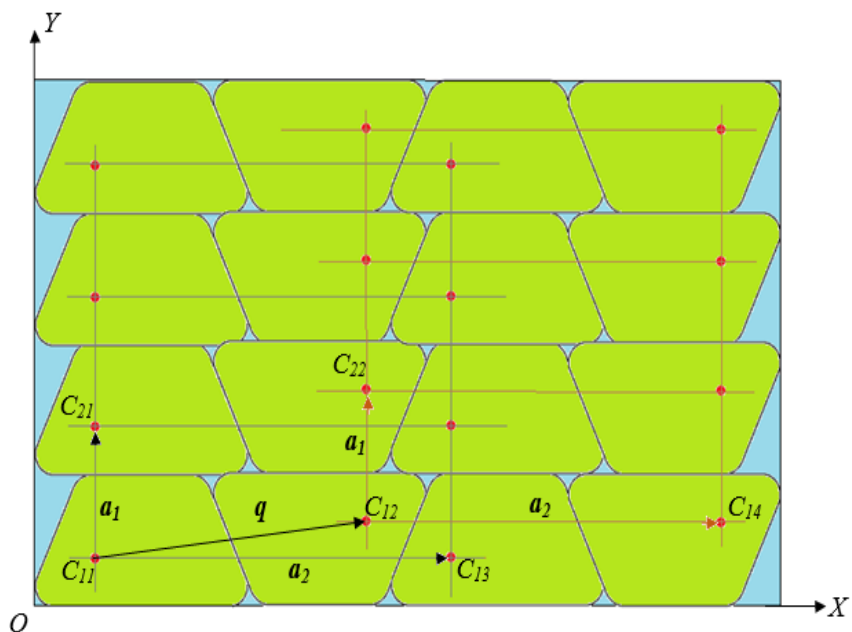


Рис. 3.4. Подвійні решітки з поворотом деталей в ряду на  $180^\circ$  вздовж осі  $OX$

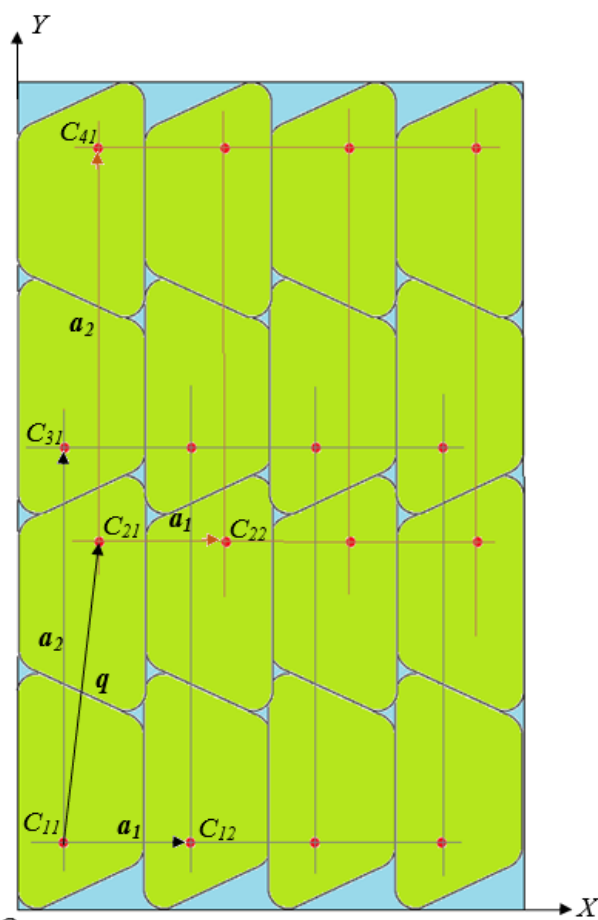


Рис. 3.5. Подвійні решітки з поворотом деталей в ряду на  $180^\circ$  вздовж осі  $OY$

Щоб визначити вектор  $\vec{a}_1$  потрібно щільно розмістити в ряд уздовж однієї з координатних осей дві однакові деталі з однаковою орієнтацією (рис.3.6-3.7).

Навколо деталі будується прямокутник, який не перетинає її контур і має сторони, що орієнтовані паралельно координатним осям. При цьому кожна зі сторін повинна хоча б в одній точці торкатися межі деталі. У такій постановці довжиною деталі  $DID$  вважається сторона прямокутника, що паралельна осі  $OX$ , а шириною  $ShD$  — сторона, яка лежить паралельно осі  $OY$  (рис. 3.6).

Для забезпечення щільного суміщення деталей уздовж координатних напрямків запровадимо поняття правої  $G_R$ , лівої  $G_L$ , верхньої  $G_V$  та нижньої  $G_N$  меж деталі. Зокрема, правою (відповідно, лівою) межею вважатимемо ту частину контуру деталі, яка розташована правіше (лівіше) точок дотику з відповідною — правою (лівою) — стороною прямокутника, що описує деталь. (рис. 3.6.а,б).

Під верхньою  $G_V$  та нижньою  $G_N$  межами деталі слід розуміти відповідні ділянки її контуру, що розміщені вище або нижче точок дотику з верхньою чи нижньою сторонами прямокутника, описаного навколо деталі. (рис. 3.6.в,г).

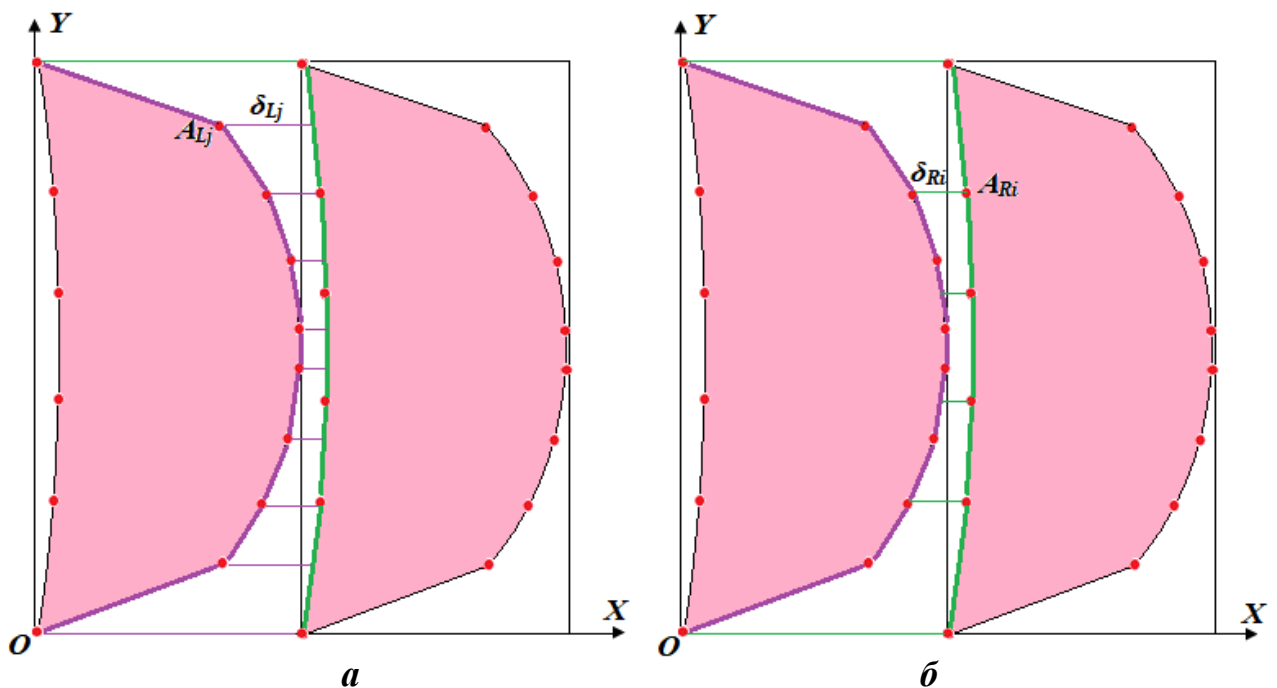


Рис. 3.6.а,б Щільне суміщення двох однакових та однаково орієнтованих деталей в ряду

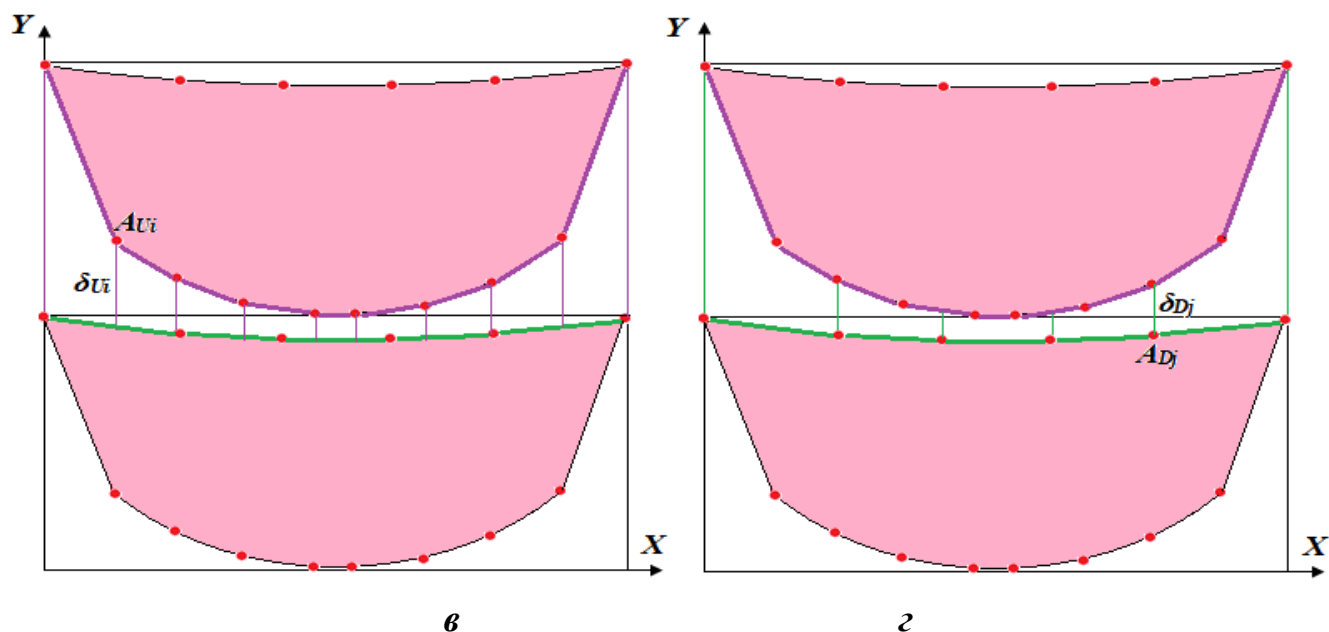


Рис. 3.6.в,г Щільне суміщення двох однакових та однаково орієнтованих деталей в ряду

Ліва границя деталі описується кривою, яка визначається координатами її опорних точок  $A_{Li}(X_{Li}, Y_{Li}), i = 1, 2..t_L$ . Права границя деталі описується кривою, яка визначається координатами її опорних точок  $A_{Rj}(X_{Rj}, Y_{Rj}), j = 1, 2..t_R$ . Верхня границя деталі описується кривою, яка визначається координатами її опорних точок  $A_{Ui}(X_{Ui}, Y_{Ui}), i = 1, 2..t_U$ . рис. 3.6).

Щоб забезпечити щільне розміщення однакових і однаково орієнтованих деталей у ряду вздовж осі ОХ (або ОУ), необхідно виконати наступне: розташувати другу деталь так, щоб права (або верхня) сторона прямокутника, описаного навколо першої деталі, точно збіглася з лівою (або нижньою) стороною прямокутника, який описано навколо деталі. (рис. 3.6.а-г).

Початкову деталь розміщуємо в прямокутній декартовій системі координат  $XOY$  так, щоб нижній лівий кут описаного прямокутника навколо цієї деталі



знаходився в початку координат, а цей прямокутник знаходився в першій чверті цієї системи координат (рис. 3.6). В такому випадку фіксована точка на деталі (поліус цієї деталі) можна визначити його координатами  $P_{11}(X_{11}, Y_{11})$  в прямокутній системі координат  $XOY$ . Для визначення цих координат застосуємо опорну функцію [66].

$$\begin{cases} Xp_{11} = H(\pi) \\ Yp_{11} = H(3\pi/2) \end{cases} \quad (3.11)$$

Для забезпечення щільного прилягання першої та другої деталей у ряду вздовж осі  $OX$  (або  $OY$ ) необхідно мати інформацію про фактичні координати вершин правої межі першої деталі та лівої межі другої (або відповідно — верхньої межі першої та нижньої другої) після накладення описаних навколо них прямокутників. Виходячи з цього, координати зазначених вершин після суміщення можна отримати шляхом трансформації їх початкових координат за наступними виразами: (рис. 3.6. а-б)

$$\begin{cases} X_{Ri}^1 = X_{Ri} + Xp_{11} = X_{Ri} + H(\pi); \\ Y_{Ri}^1 = Y_{Ri} + Yp_{11} = Y_{Ri} + H(3\pi/2); \\ X_{Lj}^2 = X_{Li} + Xp_{11} = X_{Li} + H(\pi) + DId; \\ Y_{Lj}^2 = Y_{Lj} + Yp_{11} = Y_{Li} + H(\pi); \end{cases} \quad \text{де} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, t_R; \\ j = 1, 2, \dots, t_L \end{matrix} \quad (3.12)$$

Після вирівнювання описаних прямокутників, координати вершин верхньої межі першої деталі та нижньої межі другої деталі можуть бути визначені на основі їх початкових координат. Зв'язок між початковими та новими координатами описується такими аналітичними виразами (рис. 3.6. в-г).

$$\begin{cases} X_{Ui}^1 = X_{Ui} + Xp_{11} = X_{Ui} + H(\pi); \\ Y_{Ui}^1 = Y_{ui} + Yp_{11} = Y_{Ui} + H(3\pi/2); \\ X_{Dj}^2 = X_{Dj} + Xp_{11} = X_{Di} + H(\pi); \\ Y_{Dj}^2 = Y_{Dj} + Yp_{11} + ShD = Y_{Dj} + H(\pi) + ShD; \end{cases} \quad \text{де} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, t_V; \\ j = 1, 2, \dots, t_N \end{matrix} \quad (3.13)$$

Щоб щільно сумістити дві деталі в ряду подовж вісі  $OX(OY)$  необхідно знайти максимально допустиме переміщення  $\delta_{12}$  другої деталі вдовж вісі  $OX(OY)$  (рис. 3.6.а-г) та (рис. 3.7.а (рис. 3.7.б)).

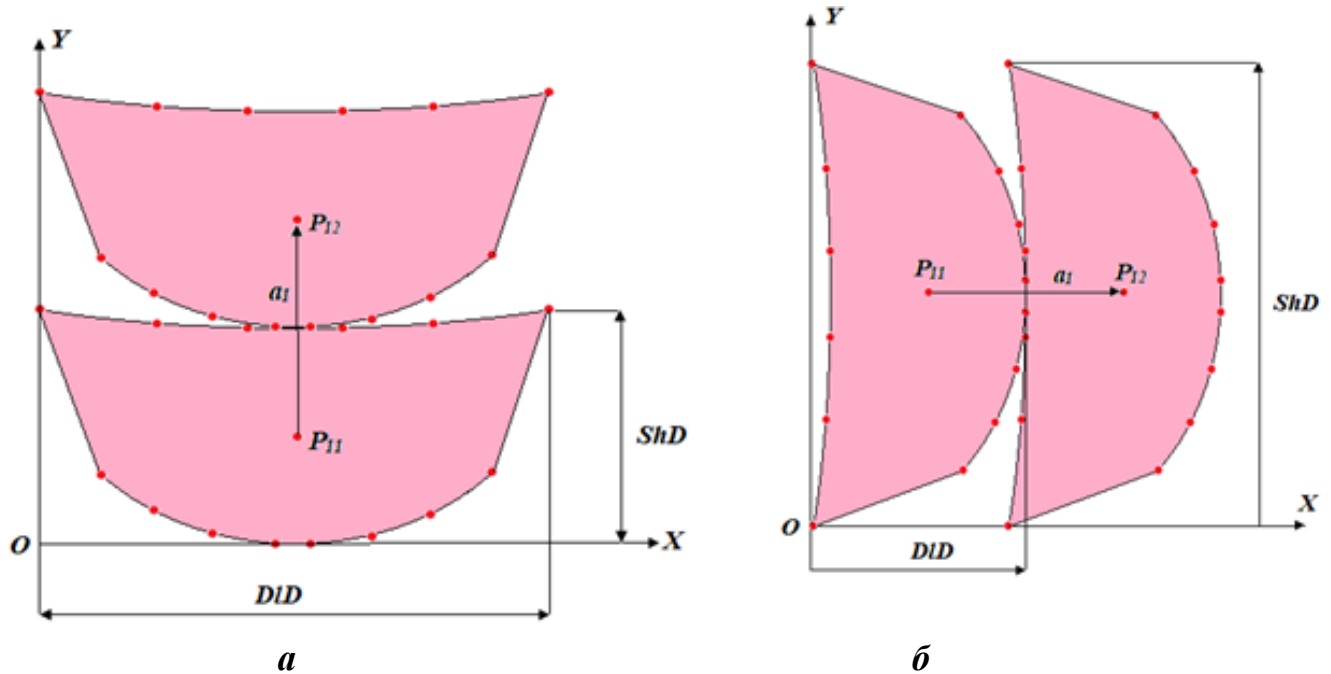


Рис. 3.7. Щільно суміщені деталі в ряду вздовж осей  $OX$  та  $OY$

Величина зсуву деталі  $\delta_{12}$  вздовж осі  $OX$ , яка забезпечує щільне прилягання до першої деталі в ряду, визначається як відстань, на яку необхідно змістити другу деталь відносно її початкового положення для досягнення щільного суміщення

$$\delta_{12} = \min(\delta_R, \delta_L), \quad \text{де} \quad \begin{aligned} \delta_R &= \min_{i=1,2, \dots, I_R} (\delta_{Ri}) \\ \delta_L &= \min_{i=1,2, \dots, I_L} (\delta_{Li}) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Щоб обчислити величину зсуву  $\delta_{Ri}$  (або  $\delta_{Li}$ ), з кожної точки правої межі першої деталі (відповідно, лівої межі другої деталі) слід провести промінь, паралельний осі  $OX$ , у напрямку до перетину з лівою межею другої деталі (або правою межею першої). Точка перетину визначає відповідне значення зсуву для заданої вершини. (рис. 3.6.а-б). Довжина знайденого відрізка дорівнює  $\delta_{Ri}$  ( $\delta_{Li}$ ),

де:

$$\delta_{Ri} = |X_{Ri} - X_0| = \left| X_{Ri} + \frac{B_1 \cdot Y_{Ri} + C_1}{A_1} \right|, \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} Y_{Ri} &\in [Y_{Lj}, Y_{Lj+1}] \text{ } \partial\partial Y_{Lj} \neq Y_{Lj+1} \\ A_1 &= Y_{Lj+1} - Y_{Lj}; \quad B_1 = X_{Lj} - X_{Lj+1}; \\ C_1 &= X_{Lj} \cdot Y_{Lj+1} - X_{Lj+1} \cdot Y_{Lj} \\ i &= 1, 2, \dots, t_R; \quad j = 1, 2, \dots, t_L. \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\delta_{Lj} = |X_{Lj} - X_0| = \left| X_{Lj} + \frac{B_2 \cdot Y_{Lji} + C_2}{A_2} \right|, \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} Y_{Lj} &\in [Y_{Ri}, Y_{Ri+1}] \text{ } \partial\partial Y_{Ri} \neq Y_{Ri+1} \\ A_2 &= Y_{Ri+1} - Y_{Ri}; \quad B_2 = X_{Ri} - X_{Ri+1}; \\ C_2 &= X_{Ri} \cdot Y_{Ri+1} - X_{Ri+1} \cdot Y_{Ri} \\ i &= 1, 2, \dots, t_R; \quad j = 1, 2, \dots, t_L. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Тоді величина зсуву деталі  $\delta_{12}$  дорівнює

$$\delta_{12} = \min(\delta_U, \delta_D), \quad \text{де} \quad \begin{aligned} \delta_V &= \min_{i=1,2,\dots,t_U} (\delta_{Ui}) \\ \delta_N &= \min_{i=1,2,\dots,t_D} (\delta_{Di}) \end{aligned} \quad (3.19)$$

Для визначення величин зсуву  $\delta_{Ui}$  (або  $\delta_{Di}$ ), з кожної точки верхньої межі першої деталі (відповідно, нижньої межі другої деталі) необхідно провести промені, паралельні осі  $OY$ , у напрямку до перетину з нижньою межею другої деталі (або верхньою межею першої). Точки перетину дозволяють обчислити відповідні значення зсувів для кожної точки заданої межі. (рис. 3.6.в-г). Довжина даного відрізка дорівнює  $\delta_{Ui}$  ( $\delta_{Di}$ ),

де:

$$\delta_{Ui} = |Y_{Ui} - Y_0| = \left| Y_{Ui} + \frac{A_3 \cdot X_{Ui} + C_3}{B_3} \right|, \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} X_{Ui} &\in [X_{Dj}, X_{Dj+1}] \text{ } ma \quad Y_{Dj} \neq Y_{Dj+1} \\ A_3 &= Y_{Dj+1} - Y_{Dj}; \quad B_3 = X_{Dj} - X_{Dj+1}; \\ C_3 &= X_{Dj} \cdot Y_{Dj+1} - X_{Dj+1} \cdot Y_{Dj} \\ i &= 1, 2, \dots, t_U; \quad j = 1, 2, \dots, t_D. \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\delta_{Dj} = |Y_{Dj} - Y_0| = \left| Y_{Dj} + \frac{A_4 \cdot X_{DNj} + C_4}{B_4} \right|, \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} X_{Dj} &\in [X_{Ui}, Y_{Ui+1}] \text{ ма } Y_{Ui} \neq Y_{Ui+1} \\ A_4 &= Y_{Ui+1} - Y_{Ui}; \quad B_4 = X_{Ui} - X_{Ui+1}; \\ C_4 &= X_{Ui} \cdot Y_{Ui+1} - X_{Ui+1} \cdot Y_{Ui} \\ i &= 1, 2, \dots, t_U; \quad j = 1, 2, \dots, t_U. \end{aligned} \quad (3.23)$$

На основі отриманих виразів можливо розрахувати значення  $\delta_{12}$ . Визначивши цю величину, можна також знайти відповідний вектор решітки, що задає відстань між розміщеними в ряду однаково орієнтованими деталями  $\vec{a}_1$ . Як можна побачити з рис.3.7  $\vec{a}_1 = (Xp_{12} - Xp_{11}, Yp_{12} - Yp_{11})$ .

У випадку, коли ряди з однаково орієнтованими деталями розміщуються вздовж вісі  $OX$

$$Yp_{12} = Yp_{11}, \quad Xp_{12} = Xp_{11} + DID - \delta_{12}. \quad \text{Тоді } \vec{a}_1 = (Xp_{12} - Xp_{11}, 0) = (DID - \delta_{12}, 0).$$

У випадку, коли ряди з однаково орієнтованими деталями розміщуються вздовж вісі  $OY$

Для визначення вектору зсуву  $\vec{q}$  подвійної решітки  $W$  за умови, що ряди розміщені вздовж осі  $OX$ , слід щільно сумістити два сусідні ряди враховуючи, що в сусідніх рядах деталі розташовані з поворотом на  $180^\circ$  одна відносно одної, що суттєво впливає на орієнтацію та положення зсуву. (рис.3.8).

Розглянемо верхню межу нижнього ряду, задану послідовністю точок  $O_1B_1O_2B_2O_3B_3O_4$ , а також нижню межу верхнього ряду  $O_1A_1O_2A_2O_3A_3O_4$ . Як видно з рисунка 3.8, обидві ці лінії мають періодичну природу з періодом  $T$ , де  $T = |\vec{a}_1|$ . Точки  $O_1, O_2, O_3, O_4$  є спільними для верхньої межі нижнього ряду та нижньої межі верхнього ряду, тобто вони одночасно належать обом кривим і також повторюються з періодом  $T$  (див. рис. 3.8). Таким чином, для аналізу щільного прилягання рядів немає потреби досліджувати всю протяжність обох меж.

Достатньо обмежитися аналізом їхнього представницького фрагмента довжиною  $T$  у межах інтервалу  $x_1 \leq x \leq x_2$ , який відповідає розташуванню між полюсами  $P_{11}$  та  $P_{12}$ . (рис. 3.8 -3.10).

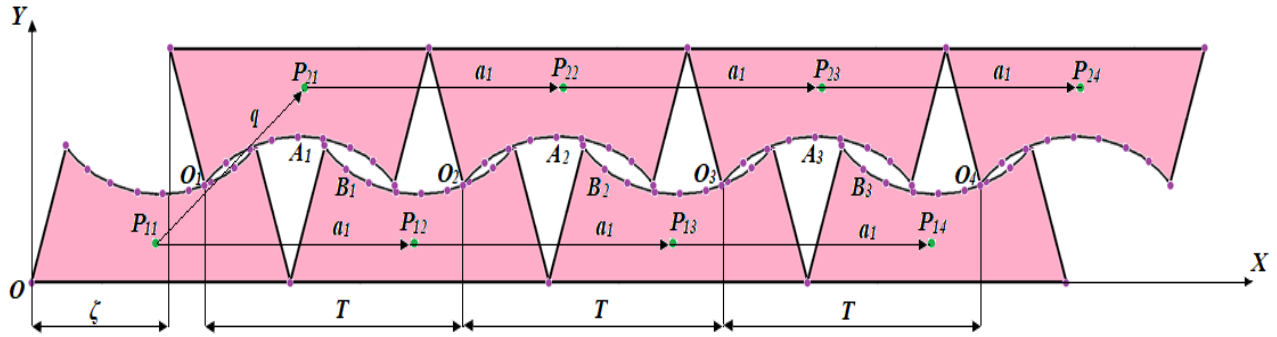


Рис. 3.8. Розташування двох сусідніх рядів

Для забезпечення щільного прилягання сусідніх рядів, попередньо навколо кожного з них будується прямокутник, після чого виконується їхнє щільне суміщення (рис. 3.8). У разі, коли ряди орієнтовані вздовж осі  $OX$ , величина вертикального зсуву  $\delta_{12}$  другого ряду відносно його початкового положення, необхідна для щільного розміщення з першим рядом, визначає зміщення вздовж осі  $OY$ .

$$\delta_{12} = \min(\delta_V, \delta_N), \quad \text{де} \quad \begin{aligned} \delta_V &= \min_{i=1,2,\dots,J_V} (\delta_{Vi}) \\ \delta_N &= \min_{i=1,2,\dots,J_N} (\delta_{Ni}) \end{aligned} \quad (3.24)$$

У випадку розташування рядів уздовж осі  $OY$ , величина горизонтального зсуву  $\delta_{12}$  другого ряду відносно його попереднього положення, необхідна для щільного суміщення з першим рядом, визначається зміщенням вздовж осі  $OX$

$$\delta_{12} = \min(\delta_R, \delta_L), \quad \text{де} \quad \begin{aligned} \delta_R &= \min_{i=1,2,\dots,J_R} (\delta_{Ri}) \\ \delta_L &= \min_{i=1,2,\dots,J_L} (\delta_{Li}) \end{aligned} \quad (3.25)$$

Величини  $\delta_{Ri}, \delta_{Li}, \delta_{Ni}, \delta_{Vi}$  обчислюються за аналогічними принципами, що й однойменні параметри, і визначаються відповідними формулами. (3.15 – 3.18) та (3.20 – 3.23).

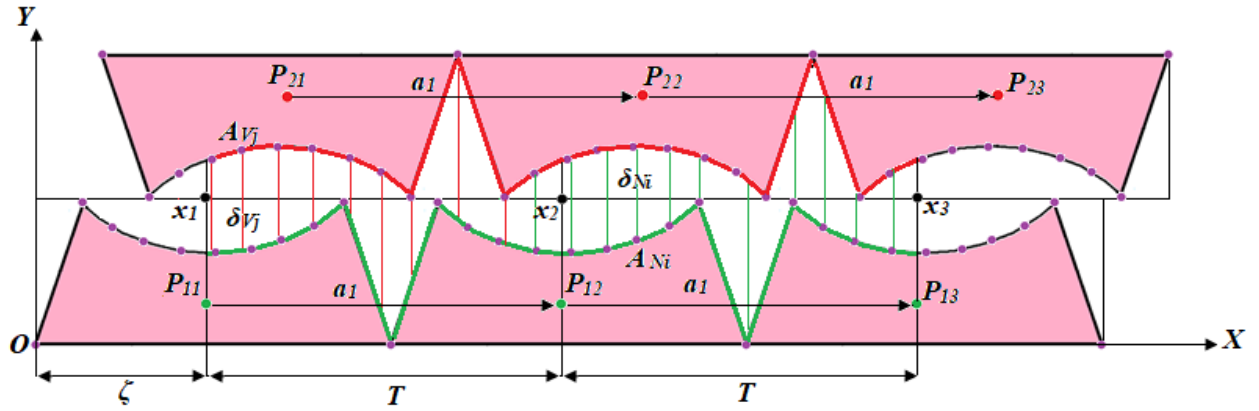


Рис. 3.9. Щільне суміщення першого та другого рядів

Отримавши значення зсуву деталей в другого ряду, необхідного для його щільного суміщення з деталями першого ряду, можна визначити вектор зсуву рядів, деталі в яких повернуті на  $180^\circ$  відносно деталей в рядах з основним положенням, що характеризує структуру решітки  $W$  :

$$\vec{q} = (X_{p_{12}} - X_{p_{11}}, Y_{p_{12}} - Y_{p_{11}}). \quad (3.26)$$

Координати  $P_{12}$  будуть визначатись таким чином:

- у разі, коли ряди з однаково орієнтованими деталями паралельні вісі  $OX$  (рис. 3.9):

$$\begin{aligned} X_{p_{21}} &= H(0) + \zeta \\ Y_{p_{21}} &= H(\pi/2) + ShD - \delta_{12} \end{aligned}; \quad (3.27)$$

- у разі, коли ряди з однаково орієнтованими деталями паралельні вісі  $OY$  :

$$\begin{aligned} X_{p_{21}} &= H(0) + DID - \delta_{12} \\ Y_{p_{21}} &= H(\pi/2) + \zeta \end{aligned}, \quad (3.28)$$

де  $\zeta$  – величина, яка описує зсув другого ряду відносно першого ряду.

У випадку розміщення рядів уздовж осі  $OX$ , величина зсуву між першим та другим рядами  $\zeta$  набуває відповідних значень, що залежить від геометрії контурів деталей та умов щільного суміщення та знаходиться в діапазоні  $-DID/2 \leq \zeta \leq DID/2$ , а коли ряди орієнтовані вздовж осі  $OY$ , величина зсуву між першим та другим

рядами  $\zeta$  які залежать від форми контурів деталей і забезпечення умов їх щільного прилягання та знаходиться в наступному діапазоні:  $-ShD/2 \leq \zeta \leq ShD/2$ .

Використавши (3.11) та (3.27-3.28) у виразі (3.26) ми отримуємо можливість однозначно описати  $\vec{q}$  для решітки  $W$ .

При визначенні вектору  $\vec{a}_2$ , що задає другий напрямок у структурі подвійної решітки  $W$ , необхідно, за аналогією з щільним суміщенням першого і другого рядів, виконати щільне розміщення третього ряду відносно вже вирівняних першого та другого рядів (рис. 3.10.а).

Щоб забезпечити щільне розміщення третього ряду відносно вже вирівняних перших двох, попередньо необхідно побудувати описані прямокутники навколо кожного з рядів, після чого виконати їх щільне суміщення відповідно до умов компактного заповнення.(рис.3.10.а). У разі, коли ряди орієнтовано вздовж осі  $OX$ , величина вертикального зсуву третього ряду  $\delta_{r_{23}}$  відносно його попереднього положення, необхідна для щільного суміщення з уже вирівняними першим та другим рядами, визначається зміщенням вздовж осі  $OY$ .

$$\delta_{23} = \min(\delta_V, \delta_N), \quad \text{де} \quad \begin{aligned} \delta_V &= \min_{i=1,2,\dots,J_V} (\delta_{Vi}) \\ \delta_N &= \min_{i=1,2,\dots,J_N} (\delta_{Ni}) \end{aligned} \quad (3.29)$$

Коли ряди розташовуються вздовж осі  $OX$ , величина зсуву третього ряду  $\delta_{r_{23}}$  у напрямку осі  $OY$ , яка забезпечує його щільне суміщення з першим і другим рядами, визначає необхідне вертикальне зміщення відносно попереднього положення.

$$\delta_{r_{23}} = \min(\delta_R, \delta_L), \quad \text{де} \quad \begin{aligned} \delta_R &= \min_{i=1,2,\dots,J_R} (\delta_{Ri}) \\ \delta_L &= \min_{i=1,2,\dots,J_L} (\delta_{Li}) \end{aligned} \quad (3.30)$$

Величини  $\delta_{Ri}, \delta_{Li}, \delta_{Ni}, \delta_{Vi}$  обчислюються за допомогою формул (3.15 – 3.18) та (3.20 – 3.23).

Знаючи величину зсуву третього ряду, необхідного для його щільного прилягання до вже суміщених першого та другого рядів, можна визначити вектор  $\vec{a}_2$ , який задає другий напрямок у структурі решітки  $W$ . (рис. 3.10.б)

$$\vec{a}_2 = (Xp_{31} - Xp_{11}, Yp_{31} - Yp_{11}). \quad (3.31)$$

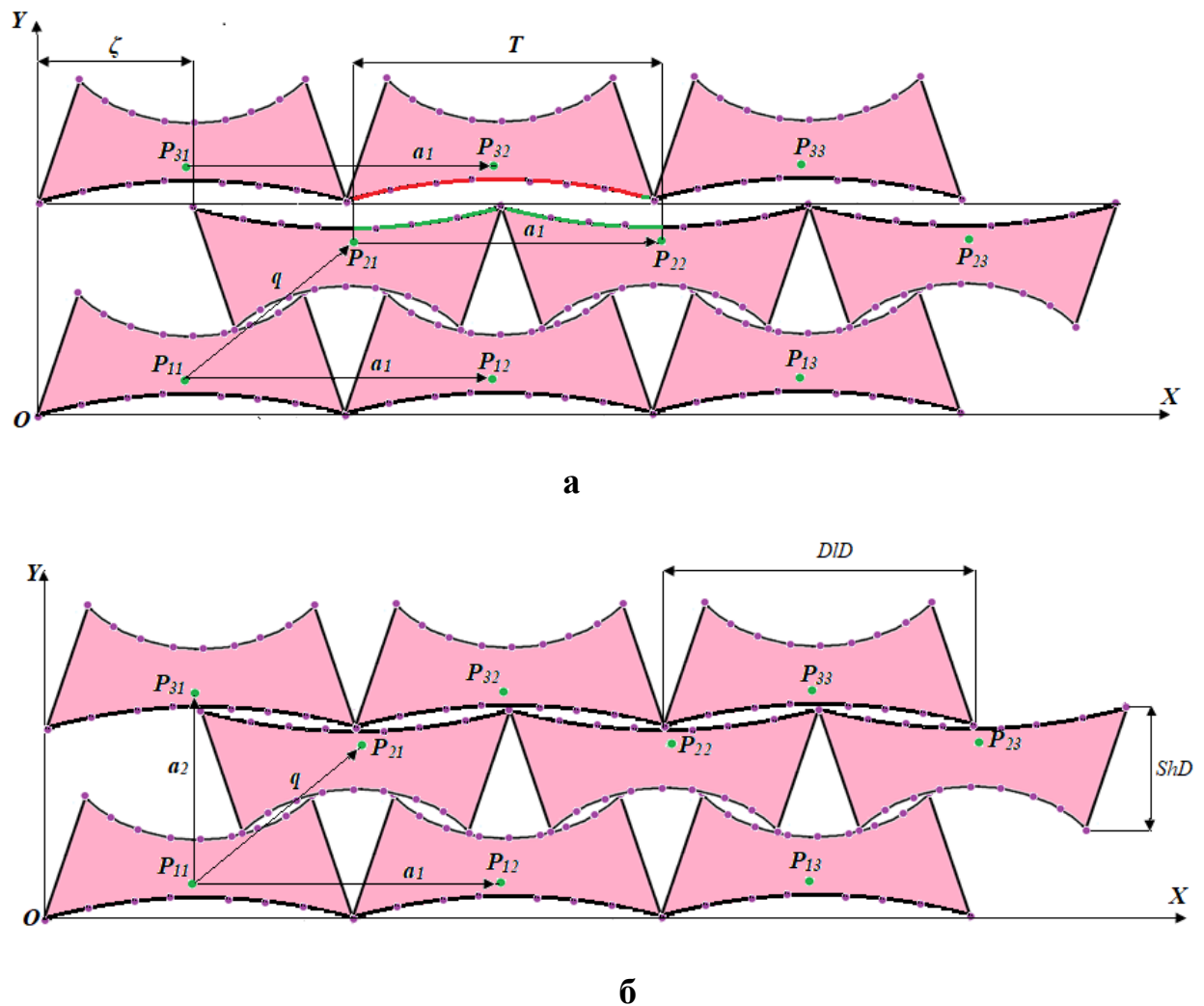


Рис. 3.10. Щільне суміщення першого та другого рядів із третім рядом

В третьому ряду координати полюсу  $P_{31}$  першої деталі визначатимуться за наступним принципом:

- у випадку розміщення нових рядів паралельно осі  $OX$  (рис. 3.11.а)



$$\begin{aligned}
 Xp_{31} &= H(\pi) \\
 Yp_{31} &= H(3\pi/2) + 2ShD - \delta r_{12} - \delta r_{13}; \\
 (3.32)
 \end{aligned}$$

- у разі розміщення нових рядів паралельно осі  $OY$  (рис.14.б)

$$\begin{aligned}
 Xp_{31} &= H(\pi) + 2DlD - \delta r_{12} - \delta r_{13} \\
 Yp_{31} &= H(3\pi/2)
 \end{aligned} \quad . \quad (3.33)$$

Підставивши вирази (3.11) та (3.32 – 3.33) у вираз (3.31) ми визначаємо вектор подвійної решітки  $W$ .

Маючи задані координати векторів  $\vec{a}_1$ ,  $\vec{a}_2$  та  $\vec{q}$ , що характеризують структуру подвійної решітки  $W$ , можна однозначно обчислити координати полюсів усіх деталей, розміщених у розкладці.

:

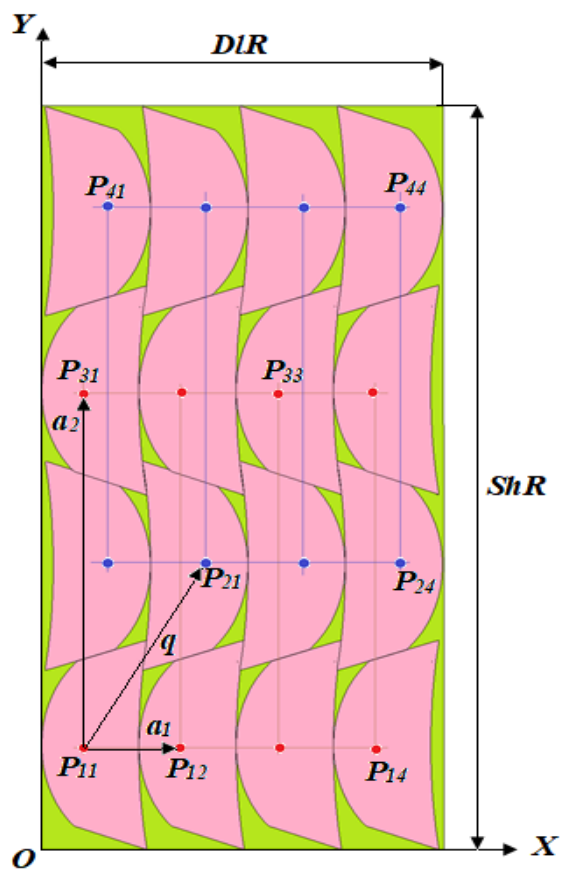
$$\begin{aligned}
 Xp_{ij} &= H(\pi) + (j-1) \cdot a_{1x} + ((i+1)div2) \cdot a_{2x} + ((i+1)mod2) \cdot q_x \\
 Yp_{ij} &= H(3\pi/2) + (j-1) \cdot a_{1y} + ((i+1)div2) \cdot a_{2y} + ((i+1)mod2) \cdot q_y,
 \end{aligned} \quad (3.34)$$

де  $i = 1, 2..i_0$ ,  $j = 1, 2..j_0$  та  $i_0 \cdot j_0 \leq Q$  ( $Q$  – кількість деталей, необхідна для викрою).

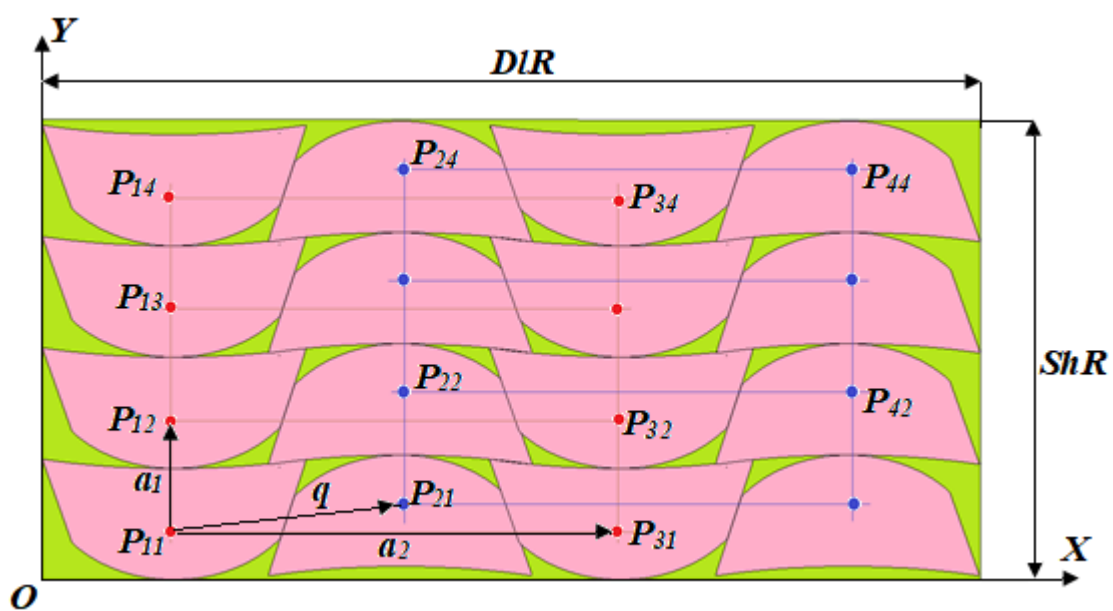
$DlR$  та  $ShR$  розкладки визначається за наступними виразами:

- при умові, що ряди з деталями у схемі розкрою паралельні вісі  $OX$  (рис.3.11.а)

$$\begin{aligned}
 DlR &= \max(Xp_{1j_0} + DlD; Xp_{2j_0} + DlD + q_x) \\
 ShR &= i_0 \cdot ShD - (i_0 div 2)(\delta r_{12} + \delta r_{23}) + ((i_0+1)mod2) \cdot \delta r_{23};
 \end{aligned} \quad (3.35)$$



a)



б)

Рис. 3.11. Розкладка на базі подвійної решітки  $W$

- при умові, що ряди з деталями у схемі розкрою паралельні вісі  $OY$  (рис. 3.11.6)

$$\begin{aligned} ShR &= \max(Yp_{1j_0} + ShD; Yp_{2j_0} + ShD + q_y) \\ DLR &= i_0 \cdot DLD - (i_0 \text{ div } 2)(\delta r_{12} + \delta r_{23}) + ((i_0 + 1) \bmod 2) \cdot \delta r_{23} \end{aligned} \quad (3.36)$$

де  $i \bmod 2$  - залишок від ціле чисельного ділення на 2 та  $i \text{ div } 2$  - значення цілої частини при ціле чисельного діленні  $i$  на 2.

Щоб побудувати укладку, на основі одинарної решітки  $\lambda$ , необхідно визначити вектори  $\vec{a}_1$  та  $\vec{a}_2$  цієї решітки. Вектор  $\vec{a}_1$  обчислюється за аналогією до відповідного вектору для подвійної решітки  $W$ , а вектор  $\vec{a}_2$  визначається за аналогією з вектором  $\vec{q}$ , який використовується в подвійній решітці, за умови, що величина зсуву між сусідніми рядами  $\varsigma=0$ . У такому випадку координати полюсів деталей у розкладці, сформованій на основі одинарної решітки  $\lambda$ , визначаються наступним чином (рис. 3.12)

$$\begin{aligned} Xp_{ij} &= H(\pi) + (j-1) \cdot a_{1x} + (i-1) \cdot a_{2x} \\ Yp_{ij} &= H(3\pi/2) + (j-1) \cdot a_{1y} + (i-1) \cdot a_{2y} \end{aligned} \quad (3.37)$$

Довжина та ширина створеної розкладки із використанням одинарної решітки обчислюється з допомогою наступних формул (рис. 3.12)

$$\begin{aligned} DLR &= Xp_{1j_0} + DLD \\ ShR &= i_0 \cdot ShD - (i_0 - 1) \cdot \delta r_{12} \end{aligned} \quad (3.38)$$

Вирази (3.34-3.38) дають змогу сформувати множину припустимих варіантів розкладок. Для кожного значення  $i_0 = 1, 2, \dots, i_r \leq R \cdot N^k$  можна легко визначити  $j_0$  як:  $j_0 = Q \text{ div } i_0$ . При цьому вибір параметрів  $i_0$  та  $j_0$  обмежується геометричними розмірами вихідного матеріалу: ширина розкладки  $ShR$  не повинна перевищувати доступну ширину матеріалу  $Sh$ , а довжина розкладки  $DLR$  —

відповідно, довжину матеріалу  $Dl$ , тобто повинні виконуватись умови:  $DlR \leq Dl$  та  $ShR \leq Sh$ . Оцінка ефективності кожного з варіантів розкладки здійснюється за показником щільності, яка характеризує ступінь використання площі матеріалу. Щільність розкладки визначається як відношення сумарної площі всіх розміщених у розкладці деталей до площі прямокутника, що охоплює всю розкладку, тобто:

$$P_{-r} = \frac{i_0 \cdot j_0 \cdot |S|}{DlR \cdot ShR} \quad (3.39)$$

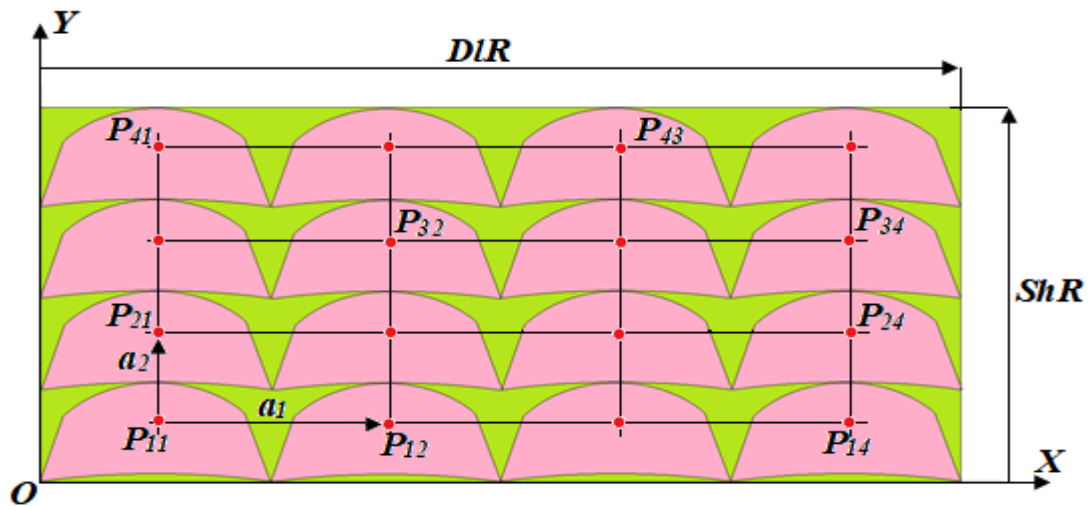


Рис. 3.12. Розкладка на базі одинарної решітки

Для побудови допустимої множини розкладок необхідно послідовно виконати такі етапи:

1. Для кожної деталі виконуються обчислення параметрів одинарної укладки  $\lambda$ , а також подвійних укладок  $W$ , передбачаючи розміщення рядів як уздовж осі  $OX$ , так і вздовж осі  $OY$  прямокутної системи координат, яка є пов'язаною з відповідною розкладкою.

2. Здійснюємо вибір укладки з максимальною щільністю, яка й розглядається як базова для кожної із деталей моделі. Саме ці укладки є базою для подальшого проектування множини допустимих розкладок.

3. Для деталей активної моделі необхідно згенерувати множину допустимих розкладок, використавши вирази (3.34-3.39) та наведені нижче обмеження:

- кількість деталей не повинна перебільшувати виробничі потреби, тобто  $i_0, j_0 = 1, 2 \dots i_k$  та  $i_0 \cdot j_0 \leq R \cdot N^k$ ;

- ширина та довжина  $DlR$  спроектованої розкладки не повинна бути більшою за ширину  $Sh$  та довжину  $Dl$  матеріалу, відповідно  $ShR \leq Sh$  та  $DlR \leq Dl$ ;

- щільність розкладки  $P_r$  повинна бути не менше за задане еталонне значення щільності  $P$ , відповідно  $P_r \leq P$ .

Будь-яка із побудованих розкладок  $R_{kt}$ ,  $k = 1, 2 \dots q$ ,  $t = 1, 2 \dots t_k$ ,  $k = 1, 2 \dots q$ ,  $t = 1, 2 \dots t_k$  має містити інформацію про:

- для деталі  $S^k$ , на базі якої спроектована розкладка  $R_{kt}$ , довжину  $DlD_{r_{kt}}$  та ширину  $ShD_{r_{kt}}$  прямокутника, який опсаний навколо цієї деталі;

-  $Nr_{kt}$  - кількість деталей  $S^k$  по вертикалі та  $Mr_{kt}$  - кількість деталей  $S^k$  по горизонталі у створеній розкладці  $R_{kt}$ ;

-  $Pr_{kt}$  - параметр, який визначає подовж якої із осей координат розміщуються рядки з однаково орієнтованими деталями:

$Pr_{kt} = 0$  - рядки з однаково орієнтованими деталями розміщуються вздовж вісі  $OX$ ;

$Pr_{kt} = 1$  - рядки з однаково орієнтованими деталями розміщуються вздовж вісі  $OY$ .

- вектори  $\vec{a}_1^k$ ,  $\vec{a}_2^k$  та  $\vec{q}^k$  для подвійної решітки  $W^k$  на основі якої побудована розкладка  $R_{kt}$  для деталі  $S^k$ ;

- $Dl\_r_{kt}$  - довжина розкладки  $R_{kt}$  ;
- $Sh\_r_{kt}$  - ширина розкладки  $R_{kt}$  .

Отримані параметри розкладки дають змогу однозначно визначити координати полюсів усіх деталей, що, у свою чергу, забезпечує можливість точного відтворення геометричної структури розкладки.

*Математичне представлення множини допустимих розкладок.* Множиною допустимих розкладок будуть розкладки  $W^k : n\bar{a}_1^k + m\bar{a}_2^k + p\bar{g}^k$ , де  $n=0,1,2,..n_{kt}$ ,  $p=0,1$ ,  $m=0,1,2,..m_{kt}$  для яких виконуються наступні умови:

- реальна кількість деталей  $S^k$  в розкладці повинна не перевищувати потреби в ній тобто  $Nr_{kt} \leq R \cdot N^k$ ;
- ширина матеріалу  $Sh\_M$  завжди більша або дорівнює ширині розкладки  $Sh\_r_{kt}$  для деталей  $S^k$ ;
- довжину матеріалу  $Dl\_M$  завжди більша або дорівнює довжині розкладки для деталей  $S^k$ ;
- коефіцієнт щільного використання площі в розкладці  $P_{kt}$  для деталей  $S^k$  вища за наперед заданий коефіцієнт щільного використання площі  $P$ .

Коли  $\bar{a}_1^k \parallel OX$  та  $\bar{a}_2^k \parallel OY$ , то

$$Dl\_r_{kt} = (n_{kt} - 1) \cdot |\bar{a}_1^k| + Dl\_d_k + g_x^k ;$$

$$Sh\_r_{kt} = (m_{kt} - 1) \cdot |\bar{a}_2^k| / 2 + Sh\_d_k .$$
(3.40)

$$Dl\_r_{kt} = (m_{kt} - 1) \cdot |\bar{a}_2^k| / 2 + Dl\_d_k ;$$

Коли  $\bar{a}_2^k \parallel OX$  та  $\bar{a}_1^k \parallel OY$ , то

$$Sh\_r_{kt} = (n_{kt} - 1) \cdot |\bar{a}_1^k| + Sh\_d_k + g_y^k .$$
(3.41)

Тоді  $P_{kt} = f(\bar{a}_1^k, \bar{a}_2^k, \bar{g}^k) = n_k m_{kt} + |S^k| / (Dl_{r_{kt}} \cdot Sh_{r_{kt}})$ .

Функція цілі задачі «Розкладка». Аналітичний вигляд для функції цілі задачі «Розкладка» можна представити наступним чином:

$$P_{kt} = (R_{st}, R_{gt}, R_{jt}) = n_k \cdot m_{kt} \cdot |S^k| / (Dl_{r_{kt}} \cdot Sh_{r_{kt}}), \quad (3.42)$$

де  $|S^k|$  – площа деталі  $S^k$ .

### 3.2.2. Задача «Секція»

Аналітичне представлення допустимої секції  $\hat{S}_{r,s,g,j} \in [1 \dots q]$  та  $s \neq g, j \neq g, s \neq j$  має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} n_{st} \cdot m_{st} &= \tilde{l}_{st} \cdot \tilde{w}_{st}^s, \\ n_{gt} \cdot m_{gt} &= \tilde{l}_{gt} \cdot \tilde{w}_{gt}^g, \end{aligned} \quad (3.43)$$

$$n_{jt} \cdot m_{jt} = \tilde{l}_{jt} \cdot \tilde{w}_{jt}^j,$$

де:  $n_{st}, m_{st}$  – кількість рядків та стовпчиків для деталі  $S^s$ ;

$n_{gt}, m_{gt}$  – кількість рядків та стовпчиків для деталі  $S^g$ ;

$n_{jt}, m_{jt}$  – кількість рядків та стовпчиків для деталі  $S^j$ .

Математичне представлення множини допустимих розв'язків задачі. За множину допустимих розв'язків задачі «Секція» будемо вважати секції, для яких коефіцієнт щільного використання площі секції  $P_{s_r}$  вищий за наперед задану коефіцієнт щільного використання площі  $P$ .

Будемо вважати, що ширина секції  $Sh_{s_r}$  дорівнює або менше за ширину матеріалу  $Sh$ . Довжина секції визначається наступним чином:

$$Dl_{s_r} = \max_{k=s,g,j} (Dl_{r_k}),$$

де  $g, j \in [1..q], s \neq g, j \neq g, s \neq j$ .

Тоді аналітичний вираз для визначення множини допустимих секцій можна представити наступним чином:

$$\left( n_{st} \cdot m_{st} |S^s| + n_{gt} \cdot m_{gt} |S^g| + n_{jt} \cdot m_{jt} |S^j| \right) / \left( \max_{k=s,g,j} (Dl_{r_k}) \cdot Sh \right) \geq P. \quad (3.44)$$

**Функція цілі задачі «Секція».** Функцію цілі задачі «Секція» аналітично можна приставити наступним чином:

$$P_{sr} = f(R'_{st}, R'_{gt}, R'_{jt}) = \left( n_{st} \cdot m_{st} |S^s| + n_{gt} \cdot m_{gt} |S^g| + n_{jt} \cdot m_{jt} |S^j| \right) / \left( (Dl_{r_k}) \cdot Sh \right).$$

Тоді очевидно, що до множини допустимих ввійдуть ті секції, у яких щільність вища за наперед задану допустиму щільність, тобто  $SP_{sr} \geq P$ .

**Алгоритми проєктування допустимої множини секцій.** Розглянемо алгоритми проєктування допустимих секцій із вже згенерованих розкладок. Вихідною інформацією буде довжини та ширини згенерованих розкладок деталей по довжині та ширині.

**Проектування секцій із одного виду деталей  $S^k$ .** (рис. 3.13).

Серед множини згенерованих допустимих розкладок  $\tilde{I}_{n_1, \dots, n_q, t=1, 2, \dots, t_k}$  вибираємо до секцій ті розкладки, які задовольняють критерію, що представлений нижче.

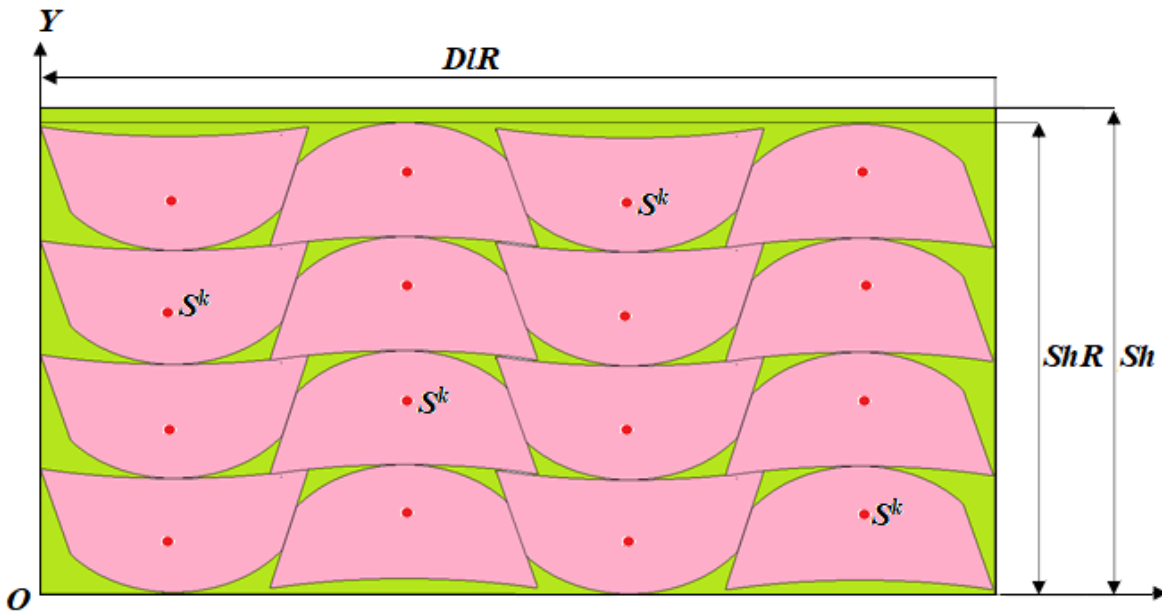


Рис. 3.13. Секція, яка складається з одного виду деталей



Критерій вибору із згенерованих розкладок тих розкладок, які можуть бути секціями з одного виду деталей можна приставити наступним чином:

$$\frac{i_0 \cdot j_0 \cdot |S^k|}{Dl_r \cdot Sh} \geq P, \quad (3.45)$$

де  $i_0$  – деталей  $S^s$  у одному розкладці;

$j_0$  – кількість рядків з деталлю  $S^s$  у розкладці;

$|S^k|$  – деталей  $S^s$

$Sh$  – довжина розкладки

$Dl_r$  – ширина матеріалу

$P$  – наперед визначений допустимий коефіцієнт корисного використання площі.

**Проектування секцій, що містять два види деталей  $S^k$  та  $S^l$  ( $k = 1, 2, \dots, q-1$ ;  $l = k+1, \dots, q$ ).** Прийmemo за комбіновану секцію ту секцію, яка складається із двох або трьох розкладок. Тоді очевидно, що при проектуванні секцій, які містять деталі  $S^k$  та  $S^l$ , будуть використані два види розкладок  $\hat{R}_{kr}$  та  $\hat{R}_{lp}$  (рис. 3.14).

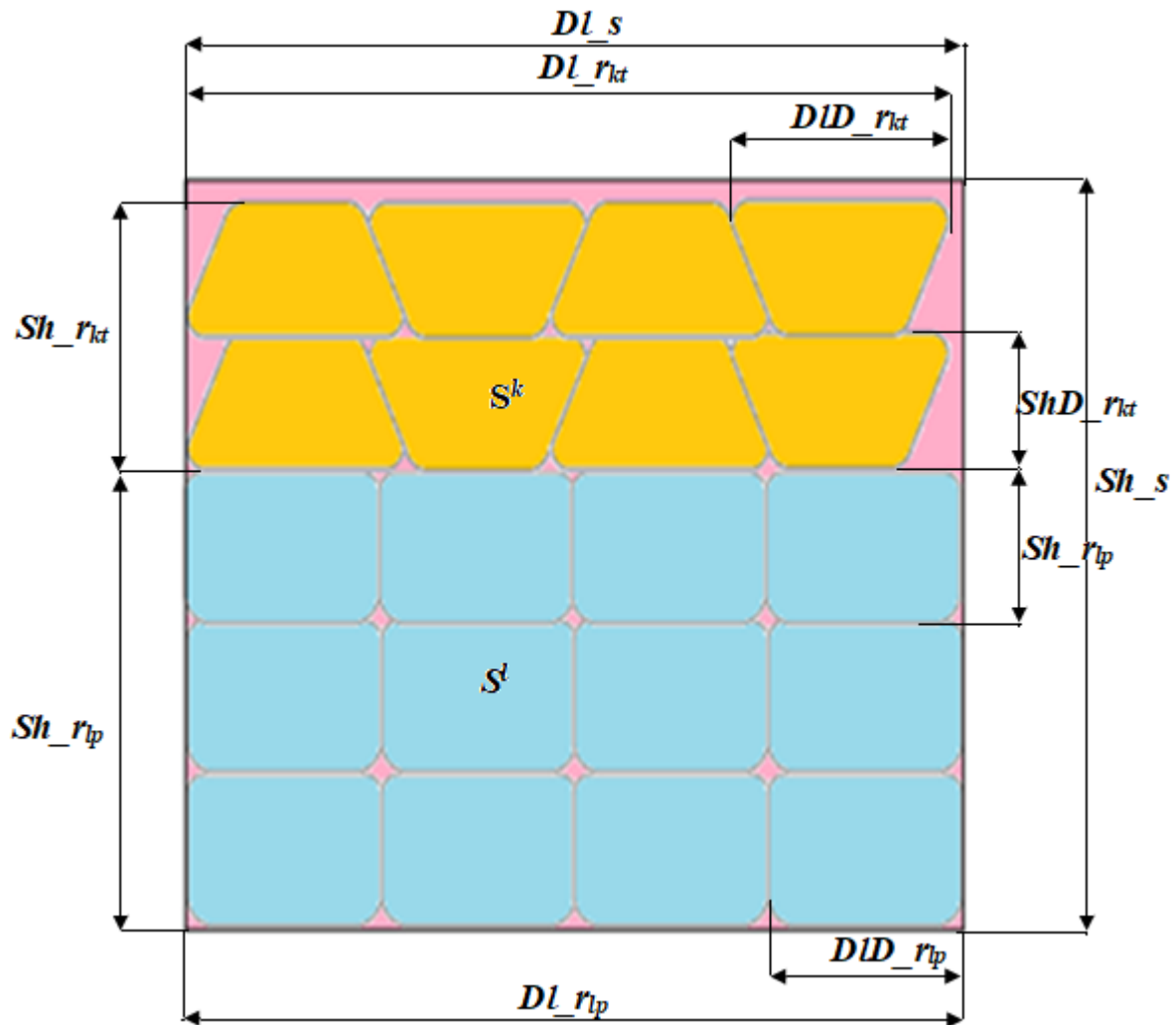


Рис. 3.14. Секція, що складається із двох видів деталей  $S^k$  та  $S^l$

При проектуванні секцій із двох видів деталей  $S^k$  та  $S^l$  необхідно враховувати те,:

- ширина секції повинна бути менше або дорівнювати ширині матеріалу. Тоді очевидно, сума ширин розкладок  $\hat{R}_{kr}$  та  $\hat{R}_{lp}$ , які входять як в секцію, мусить задовольняти наступним умовам: бути менше ширини матеріалу та більше величини, яка визначається як різниця ширини матеріалу та половини ширини деталі, меншої за шириною із двох деталей  $S^k$  та  $S^l$ , тобто  $Sh - \min(ShD_{kr}, ShD_{lp}) / 2 \leq ShS \leq Sh$ ;

- різниця довжин розкладок  $\hat{R}_{kr}$  та  $\hat{R}_{lp}$ , за абсолютною величиною, повинна бути менше або дорівнювати половині меншої довжини із довжин деталей  $S^k$  та  $S^l$ , тобто  $|Dl_{r_{kr}} - Dl_{r_{lp}}| \leq \min(DlD_{r_{kr}}, DlD_{r_{lp}})/2$ ;

- коефіцієнт щільного використання площі спроектованої секції повинен бути вище за наперед заданого коефіцієнту корисного використання площі  $P$ , тобто:

$$\frac{Nr_{kt} \cdot Mr_{kt} \cdot |S^k| + Nr_{lp} \cdot Mr_{lp} \cdot |S^l|}{Sh \cdot Dl_s} \geq P, \quad (3.46)$$

де  $Dl_s = \max(Dl_{r_{kt}}, Dl_{r_{lp}})$ .

**Проектування секцій, що містить три види деталей  $S^k$ ,  $S^l$  та  $S^r$  ( $k = 1, 2, \dots, q-2$ ;  $l = k+1, \dots, q-1$ ;  $r = l+1, \dots, q$ ).**

Проектування секцій, що містить три види деталей  $S^k$ ,  $S^l$  та  $S^r$  буде виконуватись використовуючи три види розкладок  $\hat{R}_{kr}$ ,  $\hat{R}_{lp}$  та  $\hat{R}_{rj}$  (рис.3. 15).

При проектуванні секцій, що містить три види деталей  $S^k$ ,  $S^l$  та  $S^r$  наступні обмеження необхідно враховувати:

– ширина секції повинна бути менше або дорівнювати ширині матеріалу. Тоді очевидно, сума ширин розкладок  $\hat{R}_{kr}$ ,  $\hat{R}_{lp}$  та  $\hat{R}_{rj}$ , з яких проектується секція, має бути менш ширини матеріалу та більш величини, яка визначається як різниця ширини матеріалу та половини ширини деталі, меншої за шириною із трьох видів деталей  $S^k$ ,  $S^l$  та  $S^r$ :

$$Sh - \min(ShD_{r_{kt}}, ShD_{r_{lp}}, ShD_{r_{rj}}) / 2 \leq ShS \leq Sh;$$

– для спроектованої секції абсолютна величина різниці довжин кожних двох розкладок, має бути менше за половину мінімальної довжини деталей, що входять в ці розкладки:

$$\begin{cases} |Dl_{kt} - Dl_{lp}| \leq \min(Dl_{kt}, Dl_{lp}) / 2; \\ |Dl_{kt} - Dl_{rj}| \leq \min(Dl_{kt}, Dl_{rj}) / 2; \\ |Dl_{rj} - Dl_{lp}| \leq \min(Dl_{rj}, Dl_{lp}) / 2. \end{cases} \quad (3.47)$$

– коефіцієнт щільного використання площі спроектованої секції повинен бути вище за наперед заданого коефіцієнту корисного використання площі  $P$ , тобто:

$$\frac{R_{kt} \cdot N \cdot R_{kt} \cdot M \cdot |S^k| + R_{lp} \cdot N \cdot R_{lp} \cdot M \cdot |S^l| + R_{rj} \cdot N \cdot R_{rj} \cdot M \cdot |S^r|}{Sh \cdot Dl_s} \geq P, \quad (3.48)$$

де  $Dl_s = \max(Dl_{kt}, Dl_{lp}, Dl_{rj})$ .

$$Q_3 = \frac{R_{kt} \cdot N \cdot R_{kt} \cdot M \cdot |S^k| + R_{lp} \cdot N \cdot R_{lp} \cdot M \cdot |S^l| + R_{rj} \cdot N \cdot R_{rj} \cdot M \cdot |S^r|}{Sh \cdot Dl_s} \geq P.$$

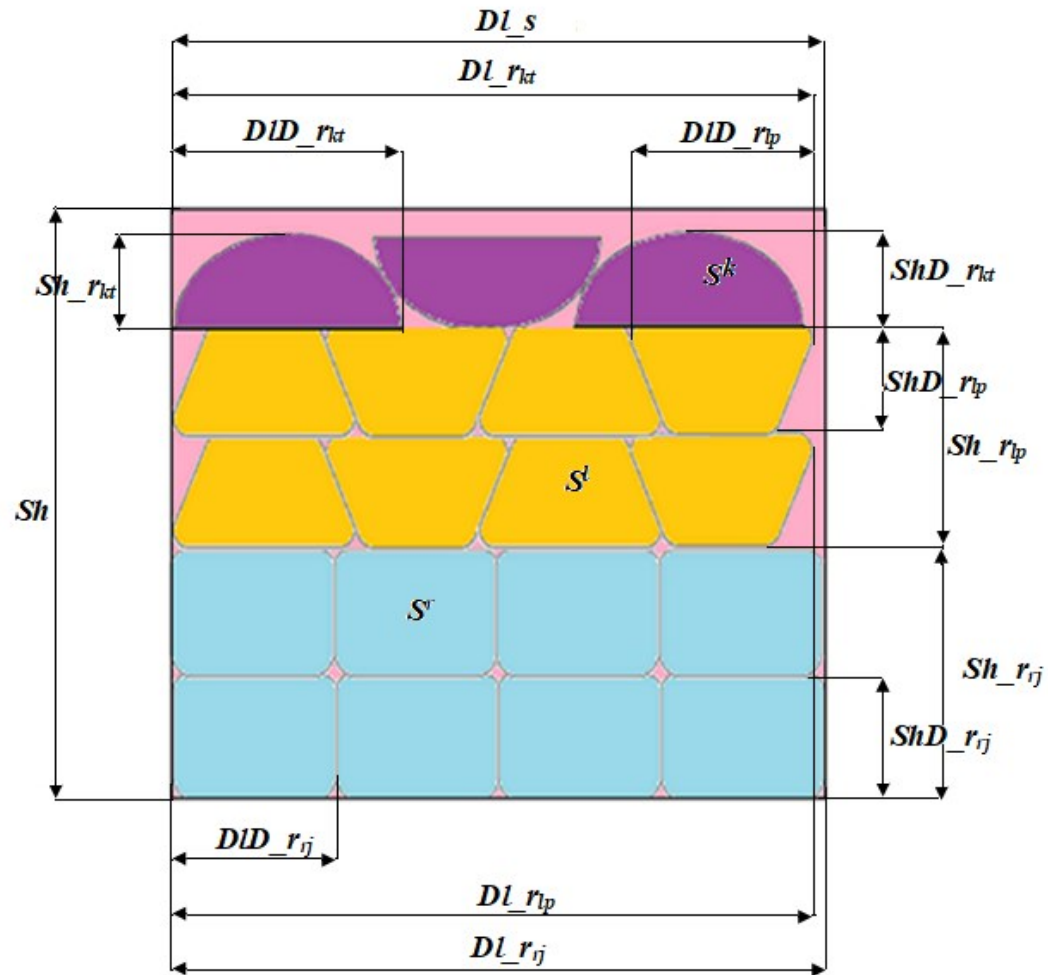


Рис. 3.15. Секція, що складається із трьох видів деталей  $S^k$ ,  $S^l$  та  $S^r$

Для кожної спроектованої секції  $\hat{S}_i$  для її однозначного відтворення необхідно мати наступну інформацію:

- ознака визначення типу секції  $P\hat{S}_i$  ( $P\hat{S}_i=1$ , якщо секція містить один тип деталей;  $P\hat{S}_i=2$ , якщо секція містить два типи деталей;  $P\hat{S}_i=3$ , якщо секція містить три типи деталей);
- довжину секції  $Dl_{s_i}$ ;
- кількість  $B_{ij}$  деталей  $S^j$  в секції  $\hat{S}_i$ ;
- порядковий номер деталі  $Nd_1(Nd_2, Nd_3)$ , з якої відповідно складається перша (друга, третя за наявності) розкладка секції  $\hat{S}_i$ ;

– номер  $N_{S_1}(N_{S_2}, N_{S_3})$  по порядку розкладки з деталлю  $N_{d_1}(N_{d_2}, N_{d_3})$ , яка входить як складова частина в секцію  $\hat{S}_i$ ;

– коефіцієнт щільного використання площі  $P_{S_i}$  в спроектованій секції  $\hat{S}_i$ .

$$Q_1 = \left( Sh - \min(ShD_{r_{kt}}, ShD_{r_{ip}}, ShD_{r_{lp}}) / 2 \leq ShS \leq Sh \right);$$

$$Q_2 = \begin{cases} |Dl_{r_{kt}} - Dl_{r_{lp}}| \leq \min(DID_{r_{kt}}, DID_{r_{lp}}) / 2 \\ |Dl_{r_{kt}} - Dl_{r_{rj}}| \leq \min(DID_{r_{kt}}, DID_{r_{rj}}) / 2 \\ |Dl_{r_{rj}} - Dl_{r_{lp}}| \leq \min(DID_{r_{rj}}, DID_{r_{lp}}) / 2 \end{cases};$$

Для вибору із спроектованої множини допустимих секції необхідних секцій, які забезпечать комплектність деталей у схемі розкрою при максимальному коефіцієнту використання матеріалу у розкрійній схемі адаптуємо алгоритм, який представлений в роботі [66].

Представлені вище алгоритми забезпечують можливість їх реалізації в програмний продукт для проектування раціональних схем розкрою для матеріалів прямокутної форми на деталі галантереї.

### **3.3. Генерування множини допустимих схем розкрою матеріалів, що мають прямокутну форму, на галантерейні деталі.**

Сучасна практика проектування та конструювання шкіряних виробів серійного виробництва стає дедалі складнішою та вимагає впровадження ефективних підходів до створення нових раціональних конструкцій, оптимізації модельного ряду й системного вдосконалення методів конструювання. У цих умовах стає очевидною необхідність не лише оновлення моделей і покращення конструктивних рішень, а й розвитку методології моделювання та автоматизації всіх етапів проектування. Розв'язати ці завдання можливо лише шляхом впровадження засобів автоматизованого проектування.

Для побудови множини допустимих варіантів розкладки необхідно послідовно виконати такі етапи:

1. Для кожної деталі, що входить до моделі шкіргалантерейного виробу, виконуються обчислення параметрів одинарної укладки  $V$  та подвійних укладок  $W$ , передбачаючи орієнтацію рядів уздовж координатних осей  $OX$  і  $OY$  прямокутної системи координат, яка пов'язана з геометрією розкладки..
2. Для кожної окремої деталі виконується вибір укладки з максимальною щільністю серед усіх можливих варіантів. Такі укладки вважаються базовими і використовуються як вихідні при формуванні множини допустимих розкладок.
3. Для кожної деталі  $S^k$ ,  $k=1,2..q$  формується множина допустимих варіантів розкладок. На основі комбінацій цих розкладок будується множина допустимих секцій, які в подальшому використовуються для генерації раціональної схеми розкрою, тобто:

$$L = \sum_{i=1}^t L_i \cdot x_i \rightarrow \max \quad (3.49)$$

З наступними обмеженнями:

$$R \cdot N^i - \lambda \leq \sum_{i=1}^t B_{ij} \cdot x_i \leq R \cdot N^i, \quad j=1,2..p \quad (3.50)$$

де  $L_i = \sum_{j=1}^p B_{ij} \cdot |S^j|$  - корисна площа матеріалу що була використана;

$\lambda$  - максимальне відхилення в схемі розкрою кількості деталей від запланованого;

$B_{ij}$  - кількість деталей  $S^i$  й в  $i$ -ій секції

$$x_i \geq 0; \quad B_{ij} \geq 0; \quad R > 0; \quad Q_i > 0;$$

Де  $x_i, Q_i, B_{ij}$  - є цілими величинами.

Сформульована задача є задачею математичного програмування великої розмірності. Оскільки кількість допустимих секцій може сягати десятків тисяч, застосування точних алгоритмів на практиці є малоефективним або взагалі непридатним через обчислювальні витрати. Тому для її розв'язання було

розроблено спеціалізований евристичний підхід, який дозволяє отримати прийнятне за якістю розв'язання за обмежений час.

Чиста площа комплекту деталей обчислюється за наступною формулою:

$$S_{net} = \sum_{j=1}^p |S^j| \cdot N^j,$$

де  $|S^j|$  - площа деталі,  $j = 1, 2, \dots, p$ ,

$N^j$  - к-ть деталі в комплекті.

**Брутто площа комплекту**, тобто площа матеріалу, необхідна для розміщення всіх деталей комплекту з урахуванням відходів і технологічних зазорів, визначається на основі рекомендованого коефіцієнту використання матеріалу  $P$  в спроектованій розкрійній схемі. Тоді брутто площа обчислюється за формулою:

$$S_{br} = S_{net} / P.$$

Кількість комплектів деталей моделі, які можливо розмістити в межах схеми розкрою на матеріалі з фіксованими габаритними розмірами  $Dl$  та  $Sh$ , визначається як відношення доступної площі матеріалу до брутто площі одного комплекту. Формально це можна записати у вигляді:

$$m = [Dl * Sh / S_{br}],$$

$[ ]$  - позначає цілу частину від виразу, який розміщений в квадратних дужках.

Наступним кроком потрібно розрахувати необхідну кількість деталей  $S^j$  у схемі.

$$T^j = N^j \times m.$$

Послідовно перебираючи відсортовані за щільністю розміщення секції  $\hat{S}_i$ , що задовольняють вимогам до мінімальної допустимої ефективності, для кожної з них обчислюється кількість можливих розміщень у межах розкрійної схеми. Це дозволяє сформувати варіанти комбінованого заповнення матеріалу найбільш раціональними секціями.



$$Ks_i = \min_{j=1..p} ([T^j/B_{ij}]),$$

де  $i$ -порядковий номер схеми розкрою, яка потенційно додається до схеми розкрою.

Після включення кожної секції  $\hat{S}_i$  до розкрійної схеми виконується оновлення обліку залишку деталей. Тобто, при кожному додаванні секції до схеми перераховується поточна кількість необхідних деталей з урахуванням уже включених. Це дозволяє контролювати обсяг виробництва та гарантує, що сумарна кількість деталей у схемі не перевищує задану потребу.

$$T^j = T^j - B_{ij} \times Ks_i$$

У випадку, якщо після чергового кроку залишок деталей залишається ненульовим, секція  $\hat{S}_i$  додається до розкрійної схеми  $Ks_i$  разів — відповідно до кількості, яку дозволяє поточна потреба в деталях. Якщо хоча б одна з деталей секції  $\hat{S}_i$  повністю покриває попит (тобто потреба в ній задоволена), дана секція більше не розглядається та виключається з подальших ітерацій. Перебір допустимих варіантів раціональних схем розкрою продовжуємо до того часу, поки не отримаємо схему розкрою, яка задовольняє нашим вимогам або не будуть перебрані всі допустимі варіанти раціональних схем із комбінації згенерованих секцій із деталей активної моделі щіргалантерейного виробу.

Після завершення формування розкрійної схеми виконується обчислення фактичної щільності розміщення деталей  $P_{sx}$  у згенерованій схемі. Паралельно з цим фіксується склад використаних секцій  $\hat{S}_i$ , а також кількість повторень  $Ks_i$  кожної з них у фінальній розкрійній конфігурації.

Серед попередньо відсортованих секцій виконується перестановка першої та другої секцій. Після цього весь алгоритм побудови розкрійної схеми повторюється для оновленого порядку секцій. Якщо отримана в результаті цього перестановки щільність розміщення деталей перевищує значення, зафіксоване на попередньому кроці, то нова схема вважається кращою, і її параметри зберігаються замість попередніх.

### **Висновки до третього розділу**

1. В третьому розділі розглянута задача впровадження комп'ютерних технологій в підготовчо-розкрійне виробництво виробів галантереї, а саме розробка алгоритмів та програмного продукту для автоматизованого проєктування розкрійних схем матеріалів прямокутної форми на деталі галантереї.

2. В цій задачі було виділено декілька проміжних задач, які вирішуються послідовно одна за другою, а саме:

- генерування множини допустимих розкладок;
- проєктування множини допустимих секцій із комбінації згенерованих розкладок;
- вибір набору секцій із множини спроектованих допустимих секцій, які забезпечують виконання технологічних вимог до розкрійних схем та раціональне використання матеріалу при розкрою за спроектованою схемою розкрою.

3. Таке поетапне розбиття загальної задачі на три послідовні підзадачі дало змогу сформулювати та реалізувати ефективні алгоритмічні рішення для кожного етапу. Розроблені алгоритми були інтегровані в програмне забезпечення, призначене для автоматизованого проєктування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі шкіргалантерейної продукції.

## 4. ІНТЕРАКТИВНА ПОБУДОВА ТА КОРИГУВАННЯ ПОБУДОВАНИХ РОЗКРІЙНИХ СХЕМ

### 4.1. Постановка задачі інтерактивної побудови та коригування побудованих розкрійних схем матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів

#### *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

$$\Omega: \begin{cases} 0 \leq x \leq Dl \\ 0 \leq y \leq Sh \end{cases}, \quad (4.1)$$

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

$$\bigcup_{p=1}^k Q_p \in \Omega \quad \text{та} \quad Q_i \cap Q_j = \emptyset, i, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j. \quad (4.2)$$

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:

$$S = \bigcup_{i=1}^q S_i \in \Omega \quad \text{та} \quad S_i \cap S_j = \emptyset, i, j = 1, 2, \dots, q, i \neq j \quad (4.3)$$

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

$$\bigcup_{p=1}^k Q_p \in \Omega, S \cap Q_p = \emptyset \quad \text{та} \quad Q_i \cap Q_j = \emptyset, i, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j. \quad (4.4)$$

#### **4.2. Ключові структурні елементи задачі інтерактивного формування та редагування схем розкрою матеріалів прямокутної конфігурації на складові частини галантерейних виробів**

У межах задачі інтерактивного проектування схем розкрою рулонних матеріалів на деталі шкіргалантерейних виробів можна виокремити такі ключові 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 представлення зовнішніх контурів деталей, які розміщатимуться на майбутній схемі розкрою***

Оскільки контури деталей галантерейних виробів, як правило, мають складну форму, їх аналітичне подання у загальному випадку є неможливим. Тому для подальшої роботи необхідно застосовувати методи апроксимації. Найбільш поширеним та практичним у даному контексті є кусково-лінійний метод апроксимації, який і буде використано в подальшому. В межах цього підходу зовнішній контур кожної деталі подається у вигляді багатокутника, що апроксимує вихідну криву з необхідною точністю. 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 (багатокутник)  $S_i, i = 1, 2, \dots, q$  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(багатокутника)  $S_i, i = 1, 2, \dots, q$  на площині достатньо знати чотири параметри:

$i$  – ідентифікаційний номер деталі;

$Xp_i, Yp_i$  – координати полюса деталі (фіксованої точки на деталі, відносно якої визначені координати вершин на зовнішньому контурі деталі);

$\theta$  – 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 величини:

$$\begin{aligned}
 & \text{— } \text{Max}X\_S_i = \max_{j=1, 2, \dots, N_i} \{X_{ij}\}; \quad \text{Max}Y\_S_i = \max_{j=1, 2, \dots, N_i} \{Y_{ij}\}; \\
 & \text{— } \text{Min}X\_S_i = \min_{j=1, 2, \dots, N_i} \{X_{ij}\}; \quad \text{Min}Y\_S_i = \min_{j=1, 2, \dots, N_i} \{Y_{ij}\}; \\
 & \text{— } \text{Dl}\_S_i = \text{Max}X\_S_i - \text{Min}X\_S_i; \quad \text{Sh}\_S_i = \text{Max}Y\_S_i - \text{Min}Y\_S_i; \\
 & \text{— } \text{Dl}\_S = \max_{j=1, 2, \dots, N_i} \{\text{Dl}\_S_i\}; \quad \text{Sh}\_S = \max_{j=1, 2, \dots, N_i} \{\text{Sh}\_S_i\}.
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

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

$$\begin{cases} | \text{Min}X\_S_i | \leq Xp_i \leq \text{Dl} - | \text{Max}X\_S_i |; \\ | \text{Min}Y\_S_i | \leq Yp_i \leq \text{Dl} - | \text{Max}Y\_S_i | \end{cases} \tag{4.6}$$

### ***Ідентифікація будь-якої деталі на матеріалі***

Для того щоб вилучити певну деталь із розкрійної схеми, її необхідно попередньо ідентифікувати в межах схеми розкрою яка редагується. 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:  $O(Xo, Yo)$ . 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.4.1).

$$\begin{cases} -Dl\_S/2 + Xo \leq Xpi \leq Dl\_S/2 + Xo \\ -Sh\_S/2 + Yo \leq Ypi \leq Sh\_S/2 + Yo \end{cases} \quad (4.7)$$

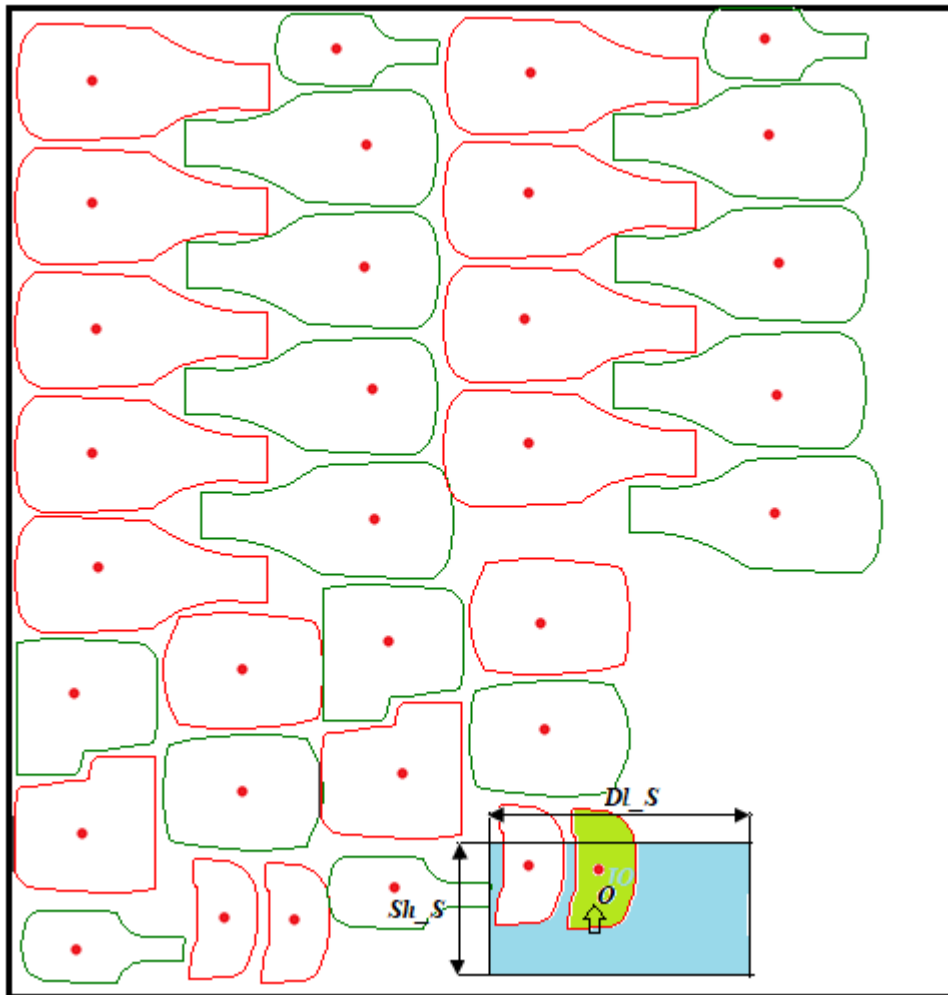


Рис. 4.1. Визначення множини допустимих деталей для вилучення із розкрійної схеми

**Друга ступінь ідентифікації деталі.** Для ідентифікації єдиної деталі на розкрійній схемі за допомогою точки, де знаходиться курсор, необхідно визначити, чи належить ця точка заданому багатокутнику, який представляє контур цієї деталі. Один із методів, що використовується для цього, – метод кутів [67].

### *Суть методу кутів*

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

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

2. **Сума кутів**  $\varphi = \sum_{i=1}^k \varphi_i = 2\pi = 0^\circ$  (рис.4.2.а), якщо точка  $O$  знаходиться всередині багатокутника  $S$ . Якщо точка  $O$  знаходиться зовні багатокутника  $S$ , суми всіх кутів повинні дорівнювати

$\varphi = \sum_{i=1}^{k_1} \alpha_i + \sum_{i=1}^{k_2} \beta_i = 0^\circ$ , так як  $\sum_{i=1}^{k_1} \alpha_i = -\sum_{i=1}^{k_2} \beta_i$  (рис. 4.2.б-в).

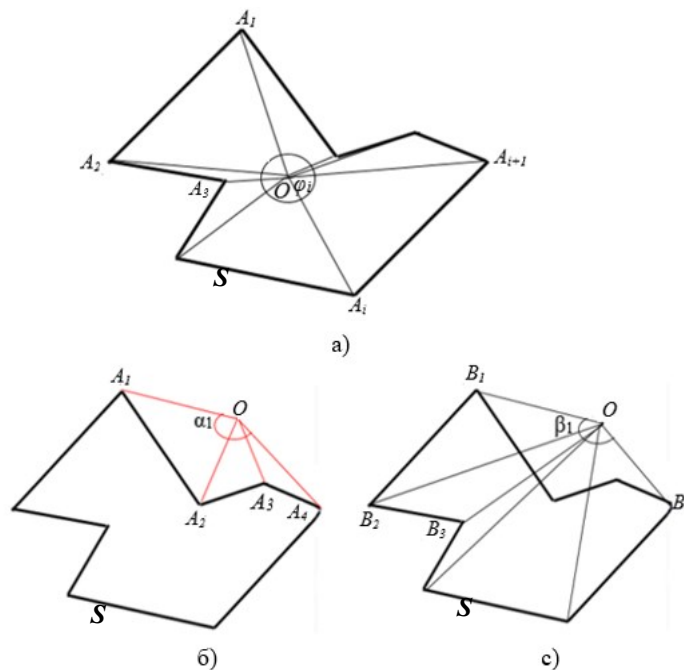


Рис. 4.2 .Взаємне розміщення деталі  $S$  та точки  $O$  Точка  $O$  знаходиться всередині деталі  $S$ ; б-с) Точка  $O$  знаходиться зовні деталі  $S$ .



### 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  $\varphi_i$  між векторами  $OA_i$  та  $OA_{i+1}$  використаємо скалярний та векторний добуток цих векторів [11]. Із скалярного добутку цих векторів обчислимо  $\cos \varphi_i$ :

$$\cos \varphi = \frac{(Xa_i - Xo)(Xa_{i+1} - Xo) + (Ya_i - Yo)(Ya_{i+1} - Yo)}{\sqrt{(Xa_i - Xo)^2 + (Ya_i - Yo)^2} \sqrt{(Xa_{i+1} - Xo)^2 + (Ya_{i+1} - Yo)^2}}; \quad (4.8)$$

$$\sin \varphi = \frac{(Xa_i - Xo)(Ya_{i+1} - Yo) - (Xa_{i+1} - Xo)(Ya_i - Yo)}{\sqrt{(Xa_i - Xo)^2 + (Ya_i - Yo)^2} \sqrt{(Xa_{i+1} - Xo)^2 + (Ya_{i+1} - Yo)^2}}. \quad (4.9)$$

Тоді  $r = \operatorname{tg} \varphi = \sin \varphi / \cos \varphi = \frac{(Xa_i - Xo)(Ya_{i+1} - Yo) - (Xa_{i+1} - Xo)(Ya_i - Yo)}{(Xa_i - Xo)(Xa_{i+1} - Xo) + (Ya_i - Yo)(Ya_{i+1} - Yo)}$  (4.10)

Якщо  $\cos \varphi > 0$  та  $-1 < \sin \varphi < 1$ , то  $\varphi = \arctg r$ ;

якщо  $\cos \varphi < 0$  та  $\sin \varphi \geq 0$ , то  $\varphi = \arctg r + \pi$ ;

якщо  $\cos \varphi < 0$  та  $\sin \varphi < 0$ , то  $\varphi = \arctg r - \pi$ ;

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

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

### 4. Результат

- Якщо сума всіх кутів дорівнює  $2\pi$ , то точка  $O$  належить многокутнику.
- Якщо сума дорівнює  $0^\circ$ , 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. 4.3), яку ми хочемо додати в схему розкрою. Деталі, полюси яких попадають належать зафарбованому прямокутнику довжиною  $Dl\_S$  та шириною  $Sh\_S$  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:

$$\begin{cases} -Dl\_S + X_p \leq X_{pi} \leq Dl\_S + X_p \\ -Sh\_S + Y_p \leq Y_{pi} \leq Sh\_S + Y_p \end{cases} \quad (4.11)$$

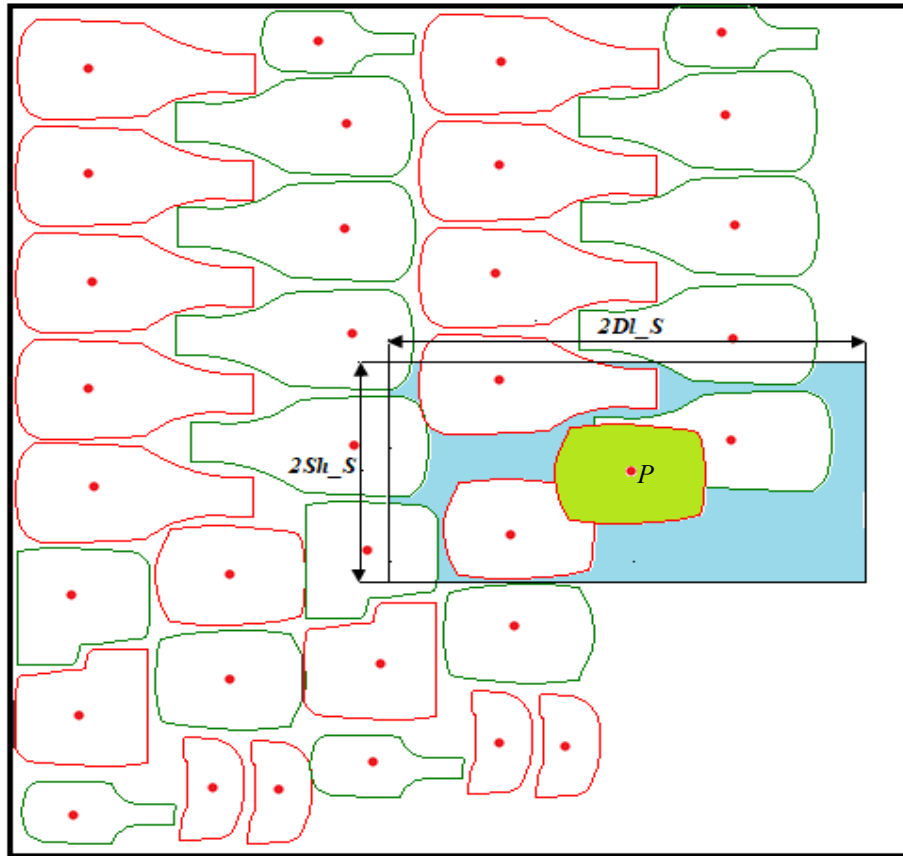


Рис. 4.3. Визначення множини допустимих деталей з якими може перетинатись активна деталь при додаванні її в розкрійну схему

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

На цьому етапі встановлюється просторове співвідношення між прямокутником, описаним навколо активної деталі зі сторонами, паралельними координатним осям, та аналогічними прямокутниками, що охоплюють інші деталі, розміщені в розкрійній схемі, полюси яких задовольняють умовам нерівностей (3.10). Для попереднього визначення взаємного розміщення двох плоских геометричних об'єктів  $S_1$  та  $S_2$  (перетинаються чи не перетинаються ці об'єкти) опишемо навколо них прямокутники  $F_1aF_1bF_1cF_1d \{X_{S1i}, Y_{S1i}\}, i=1,2..4$  та  $F_2aF_2bF_2cF_2d \{X_{S2i}, Y_{S2i}\}, i=1,2..4$  зі сторонами, що паралельні осям координат (рис.4)

Можливі три випадки:

- прямокутники не перетинаються(рис.4.4.а). Тоді активна деталь не перетинається із цією деталлю із схеми розкрою;
- прямокутники перетинаються(рис. 4.4.б). Тоді активна деталь можливо перетинається із цією деталлю із схеми розкрою. Необхідно додаткова перевірка;
- один прямокутник знаходиться в середині іншого(рис.4.4.в-г). Тоді активна деталь можливо перетинається із цією деталлю із схеми розкрою. Необхідно додаткова перевірка;

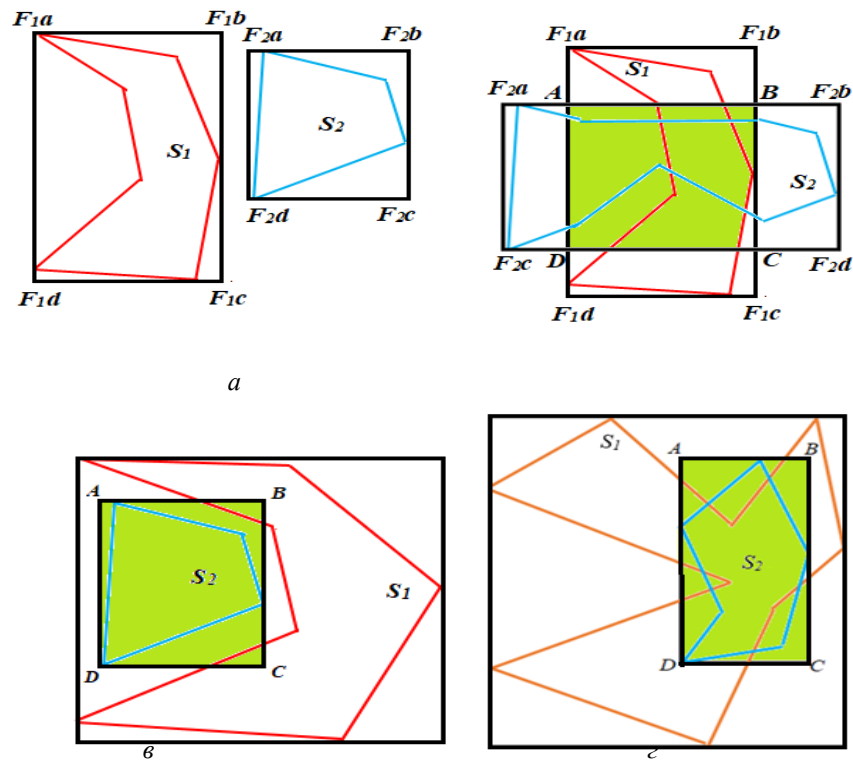


Рис. 4.4. Взаємне розміщення прямокутників, що описані навколо деталей  $S_1$  та  $S_2$

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  $MinY_{up} = \min\{Y_{\max}S_1, Y_{\max}S_2\}$ ,  $MinX_{rt} = \min\{X_{\max}S_1, X_{\max}S_2\}$ ,  
 $MaxY_{dw} = \max\{Y_{\min}S_1, Y_{\min}S_2\}$ ,  $MaxX_{lf} = \max\{X_{\min}S_1, X_{\min}S_2\}$ .

Прямокутна область  $ABCD$  можливого перетину двох фігур у двовимірному просторі  $S_1$  та  $S_2$  буде не пустою, коли виконується наступна система нерівностей:

$$\begin{cases} MinYup > MaxYdw \\ MinXrt > MaxXlf \end{cases} \quad (4.12)$$

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 фігур у двовимірному просторі  $S_1$  та  $S_2$ , які знаходяться всередині прямокутної області  $ABCD$  можуть перетинатися, тобто необхідне дослідження взаємного розміщення цих сторін.

Якщо система нерівностей (3.11) не виконується, то плоскі фігури  $S_1$  та  $S_2$  не перетинаються (рис. 4.4.а).

Якщо  $MinYup = YmaxS_1$ ,  $MinXrt = XmaxS_1$ ,  $MaxYdw = YminS_1$ ,  $MaxXlf = XminS_1$ , то плоска фігура  $S_1$  заходить в середині плоскої фігури  $S_2$ , або в середині прямокутника, який описаний навколо плоского геометричного об'єкту  $S_2$ .

Якщо  $MinYup = YmaxS_2$ ,  $MinXrt = XmaxS_2$ ,  $MaxYdw = YminS_2$ ,  $MaxXlf = XminS_2$ , то фігура  $S_2$  заходить в середині фігури  $S_1$ , або в середині прямокутника, який описаний навколо фігури  $S_1$  (рис. 4.4.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 (4.12).

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:

$$P_{kor} = \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot |S_i|}{Dl \cdot Sh} = \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot \sum_{j=1}^{N_i-1} |X_{ij} \cdot Y_{i,j+1} - X_{i+1,j} \cdot Y_{ij}|}{2 \cdot Dl \cdot Sh} > P_0, \quad (4.13)$$

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

де  $Dl, Sh$  - 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  $S_i$ .

#### **4.3. Постановка задачі 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  $\Omega$  з ускладненим зовнішнім контуром та внутрішніми отворами (що відображають дефекти матеріалу)  $q_i$ ,  $i = 1, 2 \dots t$  розмістити  $k$  двовимірних геометричних фігур  $D_p$ ,  $p = 1, 2 \dots k$  з виконанням наступних вимог розміщення:

$$\bigcup_{p=1}^k D_p \in \Omega, \quad D_i \cap D_j = \emptyset, \quad i, j = 1, 2 \dots k, \quad i \neq j, \quad (4.14)$$

$$\bigcup_{i=1}^t q_i \in \Omega, \quad q_i \cap D_p = \emptyset, \quad i = 1, 2 \dots t, \quad p = 1, 2 \dots k. \quad (4.15)$$

Задача „Інтерактивне Коригування Натуральний Матеріал В області  $\Omega$  з ускладненим зовнішнім контуром та внутрішніми отворами (що відображають дефекти матеріалу)  $q_i, i = 1, 2, \dots, t$  розмістити  $k$  двовимірних геометричних фігур  $D_p, p = 1, 2, \dots, k$ , серед щільно розміщених двовимірних геометричних фігур  $S_i, i = 1, 2, \dots, r$ , для яких виконуються наступні умови щільного розміщення:

$$S = \bigcup_{i=1}^q S_i \in \Omega, S_i \cap S_j = 0, i, j = 1, 2, \dots, r, i \neq j \quad (4.16)$$

$$\bigcup_{i=1}^t q_i \in \Omega, q_i \cap S_j = 0, i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, r, i \neq j, \quad (4.18)$$

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

$$\bigcup_{p=1}^k D_p \in \Omega, S \cap D_p = 0, D_i \cap D_j = 0, i, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j, \quad (4.19)$$

$$q_i \cap D_p = 0, i = 1, 2, \dots, t, p = 1, 2, \dots, k, . \quad (4.20)$$

#### **4.4. Основні структурні компоненти задачі інтерактивної побудови та коригування схем розкрою натуральних матеріалів зі складною конфігурацією зовнішніх контурів на деталі шкіргалантереї**

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 вище.

Тому ми зупинимося 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  $\Omega$  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:

$$\Omega_0 = \Omega \setminus \bigcup_{i=1}^t q_i. \quad (4.21)$$

Для опису корисної області  $\Omega_0$  натурального матеріалу необхідно аналітично описати зовнішній контур натурального матеріалу  $\Omega$  та зовнішні контури фігурних отворів (вад матеріалу)  $q_i, i = 1, 2, \dots, t$  (рис.3.5). Оскільки зовнішні контури натуральних матеріалів, зокрема у випадках складної геометрії країв та наявності фігурних отворів (що відповідають вадам матеріалу), зазвичай мають складну форму (рис. 1), їхнє точне аналітичне подання є складне в реалізації. У зв'язку з цим для подальшої обробки буде застосовано апроксимацію зазначених контурів.

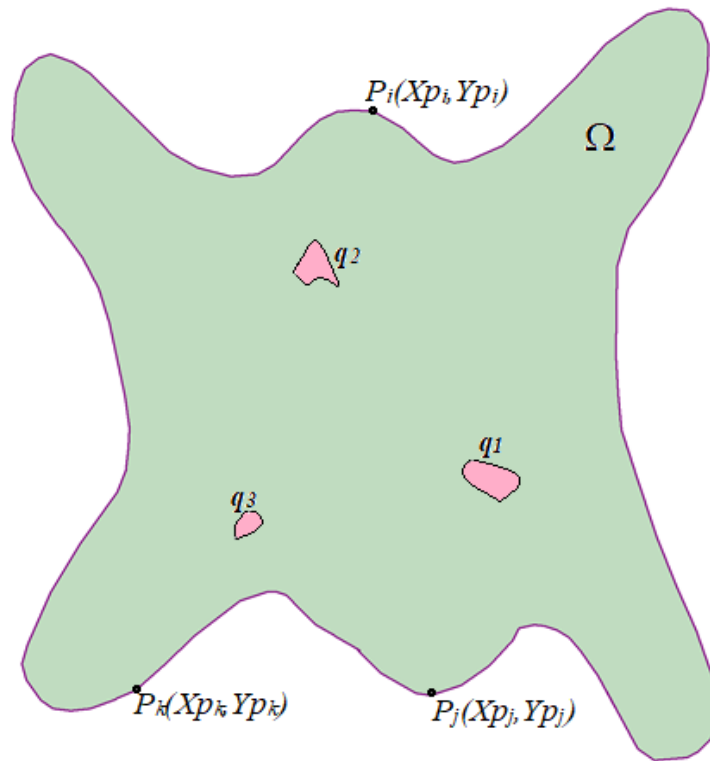


Рис.4.5. Зовнішній контур натурального матеріалу

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:

$$\Omega_0 : \begin{cases} \Omega : (X_{\Omega_i}, Y_{\Omega_i}), i = 1, 2, \dots, N \\ q_i : (Xq_{ij}, Yq_{ij}), i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, N_i \end{cases} \quad (4.22)$$

**Аналітичний опис умов, які запобігають перетину деталей з краями матеріалу та вадами на матеріалі.** Для матеріалу визначимо наступні

величини для прямокутника  $A_1B_1C_1D_1$ :

$$\begin{aligned} \text{Min}X_{\Omega} &= \min_{i=1,2..N} \{X_{\Omega_i}\}; & \text{Min}Y_{\Omega} &= \min_{i=1,2..N} \{Y_{\Omega_i}\}; \\ \text{Max}X_{\Omega} &= \max_{i=1,2..N} \{X_{\Omega_i}\}; & \text{Max}Y_{\Omega} &= \max_{i=1,2..N} \{Y_{\Omega_i}\}; \\ \text{Dl}_{\Omega} &= \text{Max}X_{\Omega} - \text{Min}X_{\Omega}; & \text{Sh}_{\Omega} &= \text{Max}Y_{\Omega} - \text{Min}Y_{\Omega}; \\ \text{Xo}_{\Omega} &= (\text{Min}X_{\Omega} + \text{Max}X_{\Omega}) / 2; & \text{Yo}_{\Omega} &= (\text{Min}Y_{\Omega} + \text{Max}Y_{\Omega}) / 2; \end{aligned}$$

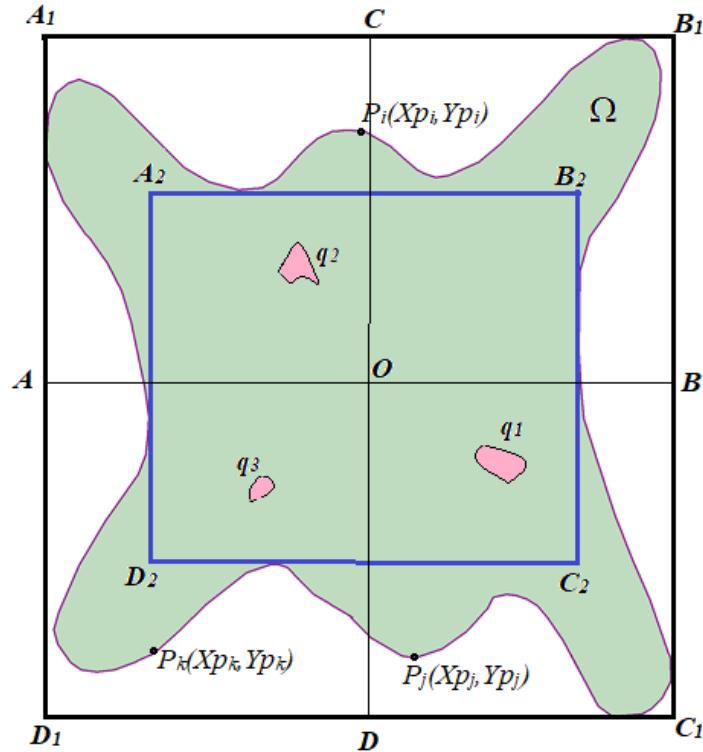


Рис. 4.6. Зони необхідної та достатньої умов не перетину  
активною деталлю з границею натурального матеріалу

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

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

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  $Pol_p(X_{pol_p}, Y_{pol_p})$  цієї деталі:

$$\begin{cases} MinX\_ \Omega + MinX\_ D_p \leq X_{pol_p} \leq MaxX\_ \Omega - |MaxX\_ D_p|; \\ MinY\_ \Omega + |MinY\_ D_p| \leq Y_{pol_p} \leq MaxY\_ \Omega - |MaxY\_ D_p| \end{cases} \quad (4.23)$$

Для матеріалу визначимо наступні величини для прямокутника  $A_2B_2C_2D_2$ :

$MinX\_right\_ \Omega$  - мінімальне значення координати  $X$  на ділянці зовнішнього контуру області  $\Omega$ , яка знаходиться праворуч від прямої  $CD$ ;

$MaxX\_left\_ \Omega$  - максимальне значення координати  $X$  на ділянці зовнішнього контуру області  $\Omega$ , яка знаходиться праворуч від прямої  $CD$ ;

$MinY\_up\_ \Omega$  - мінімальне значення координати  $Y$  на ділянці зовнішнього контуру області  $\Omega$ , яка знаходиться вище від прямої  $AB$ ;

$MaxX\_down\_ \Omega$  - максимальне значення координати  $Y$  на ділянці зовнішнього контуру області  $\Omega$ , 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  $Pol_p(X_{pol_p}, Y_{pol_p})$  цієї деталі:

$$\begin{cases} MinX\_right\_ \Omega + MinX\_ D_p \leq X_{pol_p} \leq MaxX\_left\_ \Omega - |MaxX\_ D_p|; \\ MinY\_up\_ \Omega + |MinY\_ D_p| \leq Y_{pol_p} \leq MaxY\_down\_ \Omega - |MaxY\_ D_p|. \end{cases} \quad (4.24)$$

### **Аналітичне формулювання цільової функції.**

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

$$|S| = \sum_{j=1}^{n-1} |X_j \cdot Y_{j+1} - X_{j+1} \cdot Y_j| / 2 \quad (4.25)$$

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:

$$\begin{aligned}
P &= \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot |Sd_i|}{S_{\Omega_0}} = \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot |Sd_i|}{S_{\Omega} - \sum_{i=1}^t Sq_i} = \\
&= \frac{\sum_{i=1}^q k_i \cdot \sum_{j=1}^{Nd_i-1} |Xd_{ij} \cdot Yd_{i,j+1} - Xd_{i,j+1} \cdot Yd_{ij}|}{\sum_{j=1}^{N-1} |X_{\Omega_j} \cdot Y_{\Omega_{j+1}} - X_{\Omega_{j+1}} \cdot Y_{\Omega_j}| - \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{Nq_i-1} |Xq_{ij} \cdot Yq_{i,j+1} - Xq_{i,j+1} \cdot Yq_{ij}|} > P_0
\end{aligned} \tag{4.26}$$

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;

$|Sq_i|$  - 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  $S_i$ .

### **Висновки до четвертого розділу**

1. В роботі дана технологічна та математична постановка задачі для інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї.
2. У цій задачі були виділені основні структурні компоненти та представлений аналітичний опис кожної із цих компонент.
3. Використавши аналітичний опис виділених структурних компонентів були запропоновані алгоритми реалізації цієї задачі в програмний продукт для інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою на деталі шкіргалантереї.
4. Розроблене програмне забезпечення оснащене зручним і зрозумілим інтерфейсом, що не вимагає від користувача спеціальних знань у галузі комп'ютерних наук для ефективної взаємодії з програмою.
5. Цей продукт може бути корисним в підготовчо-розкрійному виробництві в галузях легкої промисловості.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Одним із найважливіших напрямів при створенні систем автоматизованого проєктування в галузі легкої промисловості є зменшення трудовитрат в людино-годинах на етапі технологічної підготовки, оскільки ця стадія є сполучною ланкою між процесом проєктування схем розкрою та безпосереднім виготовленням продукції.

2. Аналіз деталей шкіргалантерейних виробів показав, що більшість деталей є шкіргалантерейних виробів можна представити як прямокутник та трапецію та їх модифікації.

3. Запропоновані параметричні моделі деталей шкіргалантерейних виробів на основі прямокутника та трапеції та їх модифікації за параметрами деталей. Це дозволило однозначно описати ці деталі.

4. В задачі автоматизованого проєктування розкрійних схем матеріалів прямокутної форми на деталі шкіргалантереї було виділено декілька проміжних задач, які вирішуються послідовно одна за другою, а саме: генерування множини допустимих розкладок; проєктування множини допустимих секцій із комбінації згенерованих розкладок; вибір набору секцій із множини спроектованих допустимих секцій для генерування раціональної схеми розкрою. Таке поетапне розбиття загальної задачі на три послідовні підзадачі дало змогу сформулювати та реалізувати ефективні алгоритмічні рішення для кожного етапу.

5. Представлена технологічна та математична постановка задачі для інтерактивної побудови та коригування, спроектованих в автоматичному режимі, раціональних схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї. У цій задачі були виділені основні структурні компоненти та представлений аналітичний опис кожної із цих компонент. Це дало змогу сформулювати та реалізувати ефективні алгоритмічні вирішення поставленої задачі.

6. Запропоновані алгоритми вирішення розглянутих у роботі задач реалізовані в програмний продукт для автоматизованої побудови та коригування

раціональних схем розкрою матеріалів на деталі шкіргалантереї. Цей продукт може бути корисним в підготовчо-розкрійному виробництві в галузях легкої промисловості.

7. Розроблений програмний продукт складається із трьох незалежних програм, на які отримані авторські права на твір та впроваджений у виробництво.



### Список джерел

1. Cook, S. A. (1971). “The complexity of theorem-proving procedures,” in Proceedings of the third annual ACM symposium on Theory of computing (New York, NY: Association for Computing Machinery), 151–158. doi:10.1145/800157.805047
2. <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-to-np-completeness/>
3. Zhang, H., Liu, Q., Wei, L. J., Zeng, J., Leng, J., and Yan, D. (2022). An iteratively doubling local search for the two-dimensional irregular bin packing problem with limited rotations. Comput. Operations Res. 137, 105550. doi:10.1016/j.cor.2021.105550
4. Li, D., Gu, Z., Wang, Y., Ren, C., and Lau, F. C. M. (2022). One model packs thousands of items with recurrent conditional query learning. Knowledge-Based Syst. 235, 107683. doi:10.1016/j.knosys.2021.107683
5. Martello, S., and Monaci, M. (2015). Models and algorithms for packing rectangles into the smallest square. Comput. Operations Res. 63, 161–171. doi:10.1016/j.cor.2015.04.024
6. Wu, L., Tian, X., Zhang, J., Liu, Q., Xiao, W., and Yang, Y. (2017). An improved heuristic algorithm for 2d rectangle packing area minimization problems with central rectangles. Eng. Appl. Artif. Intell. 66, 1–16. doi:10.1016/j.engappai.2017.08.012
7. George, J. A., George, J. M., and Lamar, B. W. (1995). Packing different-sized circles into a rectangular container. Eur. J. Operational Res. 84 (3), 693–712. doi:10.1016/0377-2217(95)00032-L
8. Fekete, S. P., Morr, S., and Scheffer, C. (2019). Split packing: Algorithms for packing circles with optimal worst-case density. Discrete Comput. Geom. 61 (3), 562–594. doi:10.1007/s00454-018-0020-2
9. Hemaspaandra, L. A., and Williams, R. (2012). SIGACT news complexity theory column 76. SIGACT News 43 (4), 70–89. doi:10.1145/2421119.2421135

10. Wang, T., Hu, Q., and Lim, A. (2022). An exact algorithm for two-dimensional vector packing problem with volumetric weight and general costs. *Eur. J. Operational Res.* 300 (1), 20–34. doi:10.1016/j.ejor.2021.10.011
11. Wäscher, G., Haußner, H., and Schumann, H. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. *Eur. J. Operational Res.* 183 (3), 1109–1130. doi:10.1016/j.ejor.2005.12.047
12. Xu, Y. X. (2016). An efficient heuristic approach for irregular cutting stock problem in ship building industry. *Math. Problems Eng.* 2016, e8703782. doi:10.1155/2016/8703782
13. Li, D., Gu, Z., Wang, Y., Ren, C., and Lau, F. C. M. (2022). One model packs thousands of items with recurrent conditional query learning. *Knowledge-Based Syst.* 235, 107683. doi:10.1016/j.knosys.2021.107683
14. Oliveira, J. F., Gomes, A. M., and Ferreira, J. S. (2000). Topos - a new constructive algorithm for nesting problems. *OR Spektrum* 22 (2), 263–284. doi:10.1007/s002910050105
15. Burke, E. K., Hellier, R. S. R., Kendall, G., and Whitwell, G. (2007). Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem. *Eur. J. Operational Res.* 179 (1), 27–49. doi:10.1016/j.ejor.2006.03.011
16. Martinez-Sykora, A., Alvarez-Valdes, R., Bennell, J. A., Ruiz, R., and Tamarit, J. M. (2017). Matheuristics for the irregular bin packing problem with free rotations. *Eur. J. Operational Res.* 258 (2), 440–455. doi:10.1016/j.ejor.2016.09.043
17. Abeysooriya, R. P., Bennell, J. A., and Martinez-Sykora, A. (2018). Jostle heuristics for the 2d-irregular shapes bin packing problems with free rotation. *Int. J. Prod. Econ.* 195, 12–26. doi:10.1016/j.ijpe.2017.09.014
18. Narayan, K. Lalit (2008). *Computer Aided Design and Manufacturing*. New Delhi: Prentice Hall of India. p. 3. ISBN 978-8120333420.
19. ДСТУ 2226-93 Автоматизовані системи. Терміни і визначення
20. ДСТУ 2941-94 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМ Терміни і визначення.

21. Douglas T. Ross, Automatically Programmed Tools (APT) for Boston Digital Corporation Box 154

22. <https://www.americanmachinist.com/cad-and-cam/article/21892098/the-cadcam-hall-of-fame>

23. Sears, Andrew; Jacko, Julie A. (2007). The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications, Second Edition. CRC Press. c. 5. ISBN 978-1-4106-1586-2

24. As We May Think. The Atlantic. 1945

25. <https://www.engineersrule.com/cad-space-cad-used-space-industry/>

26. Pierre Bézier (1971). "Example of an existing system in the motor industry: the Unisurf system". Proceedings of the Royal Society of London. JSTOR. 321 (1545): 207–218. Bibcode:1971RSPSA.321..207B. doi:10.1098/rspa.1971.0027. JSTOR 77846. S2CID 108624752

27. Pierre Bézier (1971). "Example of an existing system in the motor industry: the Unisurf system". Proceedings of the Royal Society of London. JSTOR. 321 (1545): 207–218. Bibcode:1971RSPSA.321..207B. doi:10.1098/rspa.1971.0027. JSTOR 77846. S2CID 108624752

28. <https://cadtalk.com/2019/11/26/cad-pioneers/>

29. [https://web.archive.org/web/20051201074232/http://www.caddigest.com/subjects/aec/select/103103\\_day\\_gehry.htm](https://web.archive.org/web/20051201074232/http://www.caddigest.com/subjects/aec/select/103103_day_gehry.htm)

30. <https://news.google.com/newspapers?id=E3MdAAAAIBAJ&pg=3877,8593585&dq=john+walker+autodesk&hl=en>

31. "What is a CAD Workstation? Definition, Uses and More". Computer Tech <https://www.computertechreviews.com/definition/cad-workstation/>

32. Jennifer Herron (2010). "3D Model-Based Design: Setting the Definitions Straight". MCAD Cafe.

33. <https://textilelearner.net/cam-in-textile-industry/>

34. Madsen, David A. (2012). Engineering Drawing & Design. Clifton Park, NY: Delmar. p. 10. ISBN 978-1111309572.
35. <https://fdstutorial.com/what-is-fds/>
36. <https://www.clarks.co.uk/about-us>
37. <https://www.lectra.com/en/fashion>
38. <https://www.digitalengineering247.com/article/delcam-crispin-launches-new-footwear-design-software>
39. <https://teseo.com/en/software/cadcam/>
40. Свідомство про реєстрацію авторського права на твір №6595 / Рябець О. І. Держ. департамент інтелектуальної власності, 2002.
41. <https://atom-shoemaster.com/en/>
42. <https://geminicad.com/discover-gemini/>
43. <https://www.grafis.com/shoes>
44. Stephenson, David A.; Agapiou, John S. (1997), Cutting theory and practice, Marcel Dekker, p. 164, ISBN 978-0-8247-9579-5.
45. Alvaro Neuenfeldt Júnior, Julio Siluk 2022, The rectangular two-dimensional strip packing problem real-life practical constraints: A bibliometric overview in Computers & Operations Research
46. Manuel Iori, Michele Monaci, in European Journal of Operational Research, 2021 Exact solution techniques for two-dimensional cutting and packing
47. G. Byrne, D. Dornfeld, B. Denkena (2003) Advancing cutting technology, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 52 (2), pp. 483-507
48. <https://www.lectra.com/en/products/gerber-paragon-furniture>
49. <https://www.techservshoe.com/>
50. <https://www.elitron.com/>
51. <https://comelz.com/zh-hans/index.html%3Fp=4965.html>
52. <https://teseo.com/en/products/?cat=footwear>
53. <https://teseo.com/en/products/fc4240/>

54. <https://www.lectra.com/en/products/vector-fashion>
55. <https://www.lectra.com/en/products/versalis-auto>
56. Leao, AaS., Toledo, F. M. B., Oliveira, J. F., and Carravilla, M. A. (2016). A semi-continuous mip model for the irregular strip packing problem. *Int. J. Prod. Res.* 54 (3), 712–721. doi:10.1080/00207543.2015.1041571. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2015.1041571?journalCode=tps20>
57. Leao, A. A. S., Toledo, F. M. B., Oliveira, J. F., Carravilla, M. A., and Alvarez-Valdés, R. (2020). Irregular packing problems: A review of mathematical models. *Eur. J. Operational Res.* 282 (3), 803–822. doi:10.1016/j.ejor.2019.04.045. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221719303820>
58. Guo, B., Ji, Y., Hu, J., Wu, F., and Peng, Q. (2019). Efficient free-form contour packing based on code matching strategy. *IEEE Access* 7, 57917–57926. doi:10.1109/ACCESS.2019.2914248. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8704207>
59. Колиско О.З. Модифікація генетичного алгоритму для генерації секцій розкрійних схем/ О.З. Колиско // Вісник КНУТД. –2009.-№1. – С. 54-56. [https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/6983/1/V45\\_P014-017.pdf](https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/6983/1/V45_P014-017.pdf)
60. Гаврилов Т.М. Модель автоматичного проектування схем розкрою листових матеріалів на деталі взуття /Т.М. Гаврилов, В.І. Чупринка //Вісник КНУТД.- 2011, №6. – С. 83-88. [https://knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnuk\\_6\\_2011.pdf](https://knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnuk_6_2011.pdf)
61. Ke, Q., Zhang, P., Zhang, L., and Song, S. (2020). Electric vehicle battery disassembly sequence planning based on frame-subgroup structure combined with genetic algorithm. *Front. Mech. Eng.* 6. doi:10.3389/fmech.2020.576642. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmech.2020.576642/full>
62. John E. Hopcroft, Rajeev Motwani, Jeffrey D. Ullman (2001). *Introduction to Automata Theory, Languages and Computation* (англ.) (вид. 2-ге). Addison-Wesley. с. [419](#). [ISBN 0-201-44124-1](#)

63. Чупринка В.І., Науменко Б.В., Василенко О.Л. Генерування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів на деталі шкіргалантереї. *Мехатронні системи: інновації та інжиніринг* тези доповідей VI міжнар. Наук.-практ. конф., 24 листопада 2022 р. Київ: КНУТД, С. 157-158. [https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/20956/1/MSIE\\_2022\\_P157-158.pdf](https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/20956/1/MSIE_2022_P157-158.pdf)
64. Гаврилов Т.М. Модель автоматичного проектування схем розкрою листових матеріалів на деталі взуття /Т.М. Гаврилов, В.І. Чупринка //Вісник КНУТД.- 2011, №6. – С. 83-88. [https://knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnuk\\_6\\_2011.pdf](https://knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnuk_6_2011.pdf)
65. Чупринка В.І. Метод автоматизованого проектування щільних укладок при прямокутно-гніздовій схемі розкрою / В.І. Чупринка, В.С. Мурженко//Вісник КНУТД.- 2011, №6. – С. 72-77. [https://knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnuk\\_6\\_2011.pdf](https://knutd.edu.ua/files/Visnyk/Visnuk_6_2011.pdf)
66. Чупринка В.І. Генерування допустимої множини розкладок для автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів / В.І. Чупринка, Б.В. Науменко, В.В. Осипенко //Вісник ХНУ. Технічні науки, № 5, 2024. С. 101-108
67. Michael Jay Laszlo Computational Geometry and Computer Graphics in C++ Prentice Hall, 1996 - 266 p.
68. Омельченко П.В. Алгоритм підготовки та корегування інформації про контури деталей шкіргалантерейних виробів/ П.В. Омельченко, В.П. Коновал, В.І. Чупринка // Вісник ТУП. – 2004. – №2. – С.217-220
69. DXF-reference. - режим доступу: <https://help.autodesk.com/view/OARX/2024/ENU/?guid=GUID-235B22E0-A567-4CF6-92D3-38A2306D73F3>
70. Омельченко П.В. Алгоритм автоматизованої підготовки інформації про деталі шкіргалантерейних виробів / П.В. Омельченко, В.П. Коновал, В.І. Чупринка // Вісник КНУТД. – 2004. - №1. – С. 85-89
71. Mumford-Valenzuela C. Heuristics for Large Strip Packing Problems with Guillotine Patterns // SIAM Journal on Computing. – 1980. - №9. – p.846

72. Bortfeldt A. A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces/ A. Bortfeldt // European Journal of Operational Research 172. – 2006. – p. 814-837
73. Burke E.K. Placement Heuristic for the Orthogonal Stock Cutting Problem / E.K. Burke, G. Kendall, G. Whitwell // Operations Research, Vol. 52, No.4, July-August 2004. – p.655-671
74. Чупринка В.І. Проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів на деталі взуття з урахуванням розмірного асортименту/ В.І. Чупринка, О.О. Шишкіна (Платонова), Л.Т. Свістунова // Вісник КНУТД. – 2002. - №2. – С. 35-38.
75. Чупринка В.І. Алгоритм підготовки інформації для побудови розкрійних схем рулонних матеріалів на деталі взуття та шкіргалантерейних виробів/ В.І. Чупринка, О.З. Колиско // Вісник КНУТД. – 2005. - №3 – С.19-24
76. Чупринка В.І. Алгоритм побудови щільних укладок для двох видів плоских геометричних об'єктів/ В.І. Чупринка, О.В. Чебанюк // Вісник КНУТД. – 2007. - №6. – С. 107-112.
77. Чупринка В.І. Автоматична побудова решітчастих схем розкрою для двох видів плоских геометричних об'єктів / В.І. Чупринка, О.В. Чебанюк, А.В. Пінчук // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Даля. – 2008. - №8. – С. 230-235
78. Delorme, X. GRASP for set packing problems. / X. Delorme, X. Gandibleux, J. Rodriguez // European Journal of Operational Research. – 2003. - №153(3). – p. 564-580.
79. Beltran, J.D. GRASP/VNS hybrid for the strip packing Problem / J.D. Beltran, Calderon J.E., R.J. Cabrera, J.A. Moreno-Perez, J.M. Moreno-Vega // Proceedings of the First International Workshop on Hybrid Metaheuristics, Valencia, Spain. – 2004. – p. 22-23.

80. Zhang D.F. An improved heuristic recursive strategy based on genetic algorithm for the strip rectangular packing problem/ D.F. Zhang, S.D. Chen, Y.J. Liu// *Acta Automatica Sinica*. – 2007. - №33(9). – p. 911-916.
81. Dereli T. A hybrid simulated annealing algorithm for 2D packing problems/ T.Dereli, G.S. Das// *Proceedings of 5<sup>th</sup> International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*. – 2006. – P. 959-966.
82. Liang K. A new evolutionary approach to cutting stock problems with and without contiguity/ K. Liang, X. Yao, C. Newton, D. Hoffman // *Computers & Operations Research*. – 2002. - №29. – p. 1641-1659
83. Levine J. Ant colony optimization and local search for bin packing and cutting stock problems/ J. Levine, F. Ducatelle // *Journal of the Operational Research Society*. – 2004. - №55(7). – p.705-716.
84. Guo P.N. Floor-planning using a tree representation / P.N. Guo, T. Takahashi, C.K. Cheng, T. Yoshimura // *IEEE Trans. On Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems*. – 2001. – 281 p.
85. Sakanushi K. The quarter-state-sequence floorplan representation / K. Sakanushi, Y. Kajitani, D.P. Mehta // *IEEE Trans. On Circuits and Sys*. – 2003. – 376 p.
86. Chang Y.C. B\*-trees: a new representation for non-slicing floorplans / Y.C. Chang, Y.W. Chang, G.M. Wu, S.W. Wu // in *Proc. Of the DAC*. – 2000. – 458 p.
87. Технологічна формалізація оптимізаційної задачі розміщення деталей взуття в схемах розкрою: тези доповідей VIII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів Наукові розробки молоді на сучасному етапі, (Київ, 23-24 квітня 2009 р.) / М-во освіти і науки України, КНУТД. – К.:КНУТД, 2009. – Т1 – 325 с.
88. Чупринка В.І. Комплексний підхід до розв'язання задачі щільного розміщення об'єктів складної форми на площині / В.І. Чупринка, О.О. Хоменко, Л.Т. Свістунова // *Проблеми програмування. Спеціальний випуск*. – 2010. - № 2-3. – С. 621-628



89. Метод удосконалення процесу автоматизованої побудови схем розкрою рулонних матеріалів на деталі взуття: тези доповідей IX Ювілейної Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів, присвяченої 80-річчю КНУТД Наукові розробки молоді на сучасному етапі, (Київ, 22-23 квітня 2010 р.) / М-во освіти і науки України, КНУТД. – К.:КНУТД, 2010. – Т1 – 368 с.

90. Чупринка В.І. Алгоритм побудови щільного суміщення однойменних деталей взуття / В.І. Чупринка, О.О. Хоменко, Л.Т. Свістунова // Вісник КНУТД. 2009 - №1. – С.41-46.

91. Чупринка В.І. Методика визначення оптимальної послідовності суміщення секцій розкрійної схеми / В.І. Чупринка, О.О. Хоменко, Л.Т. Свістунова // Вісник КНУТД. 2009. - №6. – С. 63-68.

92. Чупринка В.І. Підготовка вхідної інформації про схеми суміщення деталей взуття для автоматизованого розкрою / В.І. Чупринка, О.О. Хоменко, М.М. Шкоденко // Вісник КНУТД. 2009 - №2. – С. 22-28.

93. Хоменко О.О. Аналіз систем суміщення деталей взуття для побудови розкрійних схем рулонних матеріалів / О.О. Хоменко // Вісник КНУТД. – 2010 - №4(54). – С. 83-88.

94. Особливості щільного суміщення деталей складних контурів: тези доповідей VIII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів Наукові розробки молоді на сучасному етапі, (Київ, 23-24 квітня 2009 р.) / М-во освіти і науки України, КНУТД. – К.:КНУТД, 2009. – Т1 – 235 с.

95. Baker, Brenda S. and Jerald S. Schwarz. “Shelf Algorithms for Two-Dimensional Packing Problems.” SIAM J. Comput. 12 (1983): 508-525.

96. Queiroz, Thiago Alves de et al. “An extension of Queiroz and Miyazawa's method for vertical stability in two-dimensional packing problems to deal with horizontal stability.” Engineering Optimization 51 (2018): 1049 - 1070.

97. Jain, Sakait and Hae Chang Gea. “Two-dimensional packing problems using genetic algorithms.” Engineering with Computers 14 (2005): 206-213.

98. Harren, Rolf and Rob van Stee. “Improved Absolute Approximation Ratios for Two-Dimensional Packing Problems.” International Workshop and International Workshop on Approximation, Randomization, and Combinatorial Optimization. Algorithms and Techniques (2009).
99. Binkley, Kevin J. and Masafumi Hagiwara. “Applying self-adaptive evolutionary algorithms to two-dimensional packing problems using a four corners' heuristic.” Eur. J. Oper. Res. 183 (2007): 1230-1248.
100. Guo, Baosu et al. “Two-dimensional irregular packing problems: A review.” Frontiers of Mechanical Engineering (2022).
101. Bui, Lam Thu et al. “A grid-based heuristic for two-dimensional packing problems.” 2011 IEEE Congress of Evolutionary Computation (CEC) (2011): 2329-2336.
102. Є. П. Зайцев: Вища математика. Лінійна та векторна алгебра, аналітична геометрія, вступ до математичного аналізу Алєрта 574 с.
103. Чупринка В.І., Гаркавенко С.С. Автоматизоване проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів на деталі взуття та галантерейних виробів Київ, КНУТД- 2017. – 196 с.
104. Чупринка В.І. Побудова еквідистанти для плоского геометричного об'єкта / В.І. Чупринка, К.А. Шлімович // Вісник ДАЛПУ. – 2000. - №1. – С. 83-86.
105. Чупринка В.І. Алгоритм побудови еквідистанти для плоского геометричного об'єкта довільної форми. / В.І. Чупринка, О.О. Хоменко, Л. Т. Свістунова // Вісник КНУТД. – 2009. - №3. – С. 27-32
106. Аналітична геометрія Підручник для вищих навчальних закладів Б. В. Гринев, І. К. Кириченко Гімназія 344 с.
107. Вуштей О. А. Конструювання шкіргалантерейних виробів із використанням САПР / О. А. Вуштей, Н. В. Чупринка // Вісник КНУТД, – 2012. №2. – С. 13-16.

108. Чупринка Н. В. Автоматизованого проектування деталей жіночих сумок з використанням стандартних елементів / Н. В. Чупринка, С. С. Гаркавенко // Вісник КНУТД, – 2014. №6. – С. 42-48.

109. Чупринка Н. В. Автоматизоване проектування декоративних елементів на зовнішніх контурах деталей жіночих сумок / Н. В. Чупринка, С. С. Гаркавенко // Вісник КНУТД, – 2015. №4. – С. 237-242.

110. Чупринка Н. В. Автоматизована підготовка інформації про деталі шкіргалантерейних виробів / Н. В. Чупринка, С. С. Гаркавенко // Проблеми легкої промисловості України 2012, №2(20). – С. 65-69.

111. Чупринка Н. В. Автоматизоване проектування деталей шкіргалантерейних виробів / Н. В. Чупринка // Тези доповідей XI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів, 19-20 квітня „Наукові розробки молоді на сучасному етапі”. – Т2 - К.:КНУТД, 2012. – С. 87-88.

112. Чупринка Н. В. Проектування сумок з використанням автоматизованих систем / Н. В. Чупринка, А. О. Терстуян // Тези доповідей XII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів, 25-26 квітня „Наукові розробки молоді на сучасному етапі”. – Т1, - К.:КНУТД, 2013. – С. 142-143.

113. Чупринка Н. В. Автоматизоване проектування деталей шкіргалантерейних виробів / Н. В. Чупринка // Тези доповідей XII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів, 25-26 квітня „Наукові розробки молоді на сучасному етапі”. – Т2 - К.: КНУТД, 2013. – С. 83-84.

114. Чупринка Н. В. Класифікація зовнішніх контурів деталей жіночих сумок для автоматизованого проектування цих деталей з використанням стандартних елементів / Н. В. Чупринка, С. С. Гаркавенко // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми легкої і текстильної промисловості України», 22-24 жовтня 2014, м. Херсон, – С. 63-65.

115. Чупринка Н. В. Автоматизоване проектування декоративних елементів для жіночих сумок. / Н. В. Чупринка, С. С. Гаркавенко // Тези доповідей

Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми легкої і текстильної промисловості України», 22-24 жовтня 2014, м. Херсон, – С. 127-129.

116. Чупринка В.І., Гаркавенко С.С., Чупринка Н.В. Інтерактивний метод проектування галантерейних виробів Київ, КНУТД- 2016. – 120 с.

117. Чупринка В.І. Підготовка інформації для автоматичного розкрою / В.І. Чупринка, Волошин, Піпа Т.А. // Вісник ДАЛПУ. – 2000. - №1. – С. 91-83.

118. Чупринка В.І. Система підготовки інформації для автоматичного розкрою спроектованих схем розкрою./ В.І. Чупринка, В.Ю. Щербань, І.І. Тонн // Вісник КНУТД. – 2003. - №2 . – С. 171-173.

119. Омельченко П.В. Автоматизована підготовка інформації про деталі із технологічними припусками / П.В. Омельченко, В.П. Коновал, В.І. Чупринка // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. - № 1. – С. 135-137.

120. Чертенко Л.П. Розробка комп'ютерної технології проектування внутрішньої форми взуття та деталей низу автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.16.08. Київ, 2003. 27 с.

121. Чертенко Л.П., Коновал В.П. Математичне задання контурів внутрішньої форми взуття // Вісник КНУТД. 2002. №1. С. 15-19.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

Сертифікати учасника міжнародних науково-практичних конференціях за кордоном









## Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

**УКРАЇНА**



**СВІДОЦТВО**

про реєстрацію авторського права на твір

№ 133078

Комп'ютерна програма «Генерація та оптимізація розкрою деталей»  
(«Генерація та оптимізація розкрою деталей»)

(вид, назва твору)

Автор (співавтори) **Науменко Богдан Віталійович**

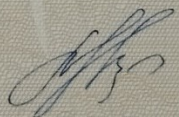
(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності), псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать повністю **Науменко Богдан Віталійович, вул.  
Лейпцизька, 16, м. Київ, 01015**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) фізичної особи / найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 4 лютого 2025 р.

Директор Державної організації  
«Український національний  
офіс інтелектуальної власності  
та інновацій»

  
**Олена ОРЛЮК**





УКРАЇНА



**СВІДОЦТВО**

про реєстрацію авторського права на твір

№ 133098

**Комп'ютерна програма «Інтерактивне проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів» («ІПРСРРМ»)**

(вид, назва твору)

**Автор (співавтори) Науменко Богдан Віталійович, Чупринка Віктор Іванович, Чупринка Наталія Вікторівна**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності), псевдонім (за наявності))

**Авторські майнові права належать спільно Науменко Богдан Віталійович, вул. Лейпцизька, 16, м. Київ, 01015; Чупринка Віктор Іванович, вул. Панаса Мирного, 1, кв. 9, м. Київ, 01011; Чупринка Наталія Вікторівна, вул. Каменярів, 22, м. Київ, 03118**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) фізичної особи / найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 4 лютого 2025 р.

**Директор Державної організації  
«Український національний  
офіс інтелектуальної власності  
та інновацій»**

  
**Олена ОРЛЮК**





УКРАЇНА



**СВІДОЦТВО**

про реєстрацію авторського права на твір

№ 133232

Комп'ютерна програма «Інтерактивне проектування раціональних схем розкрою шкір» («ІПРСРШ»)

(вид, назва твору)

Автор (співавтори) **Науменко Богдан Віталійович, Чупринка Віктор Іванович, Чупринка Наталія Вікторівна**

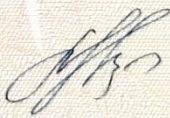
(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності), псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать спільно **Науменко Богдан Віталійович, вул. Лейпцизька, 16, м. Київ, 01015; Чупринка Віктор Іванович, вул. Панаса Мирного, 1, кв. 9, м. Київ, 01011; Чупринка Наталія Вікторівна, вул. Каменярів, 22, м. Київ, 03118**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) фізичної особи / найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 6 лютого 2025 р.

Директор Державної організації  
«Український національний  
офіс інтелектуальної власності  
та інновацій»

 **Олена ОРЛЮК**



**Додаток В**

**Результати програмної реалізації автоматизованого проєктування  
раціональних схем розкрою матеріалів на деталі  
шкіргалантереї**

**В.1. Результати програмної реалізації автоматизованого проєктування  
раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі деталі  
шкіргалантереї**

**Архітектура програмного забезпечення**

Програмний комплекс побудований за модульним принципом і складається з наступних основних компонентів:

- **Модуль введення даних** – обробляє вхідні файли, що містять параметри деталей, їх геометричні характеристики та кількість.
- **Алгоритмічний модуль** – виконує аналіз вхідних даних, обробляє координати деталей, визначає оптимальні параметри розкрою та застосовує методи лінійних ефектів для врахування технологічних допусків.
- **Модуль візуалізації** – відповідає за графічне представлення отриманих результатів, використовуючи об'єкти Graphics та Bitmap.
- **Модуль сортування деталей** – застосовує алгоритми впорядкування деталей за їх розмірами для оптимального розташування на матеріалі.
- **Модуль генерації секцій розкрою** – визначає найкращі варіанти розміщення деталей та обчислює площу їхнього розташування.
- **Модуль збереження результатів** – формує вихідний файл, що містить оптимізовану схему розкрою, яку можна використати для подальшого виготовлення.



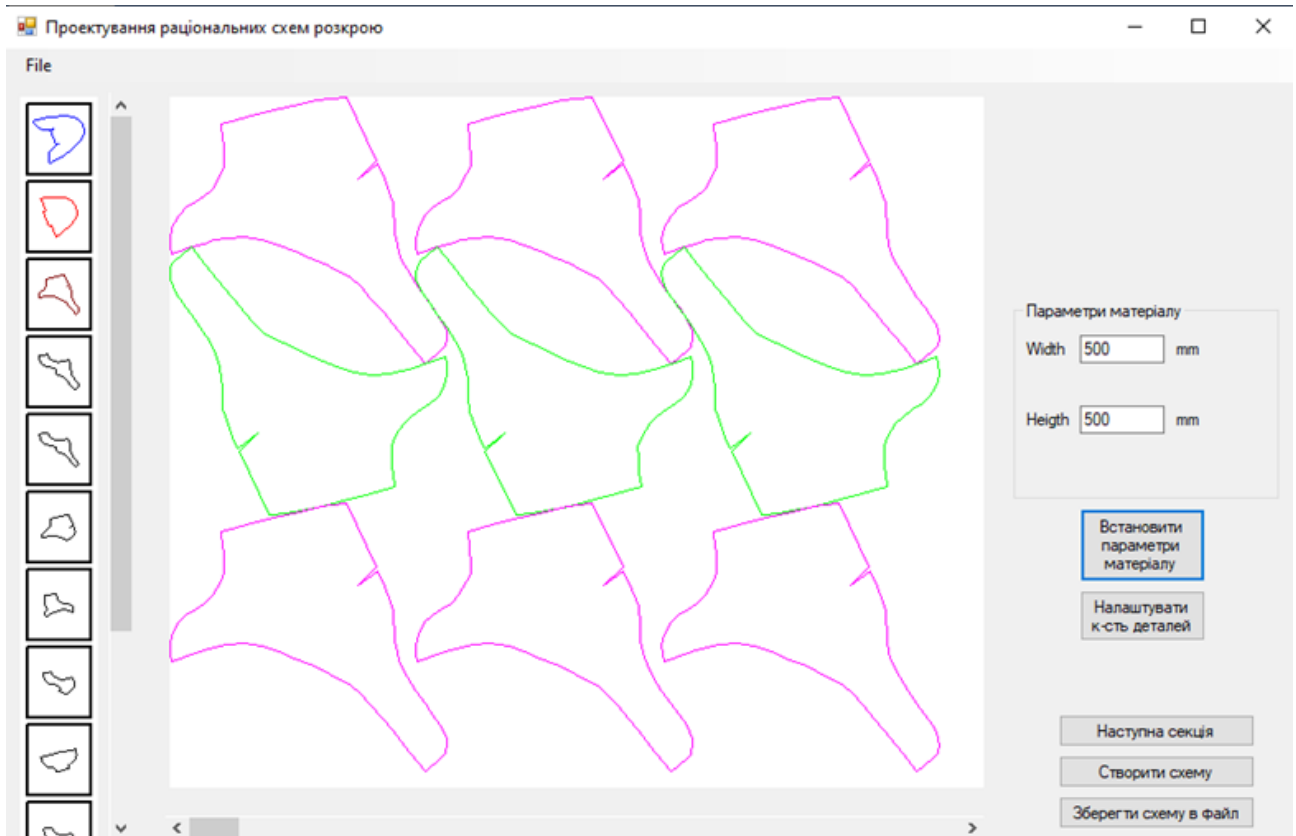


Рис В.1. Головний екран програми

### Алгоритми обробки даних

Для обробки вхідних даних застосовуються такі алгоритми:

- **Зчитування та парсинг вхідного файлу** – програма отримує інформацію про модель, розміри деталей та їх координати.
- **Обчислення максимальних і мінімальних значень координат** – визначаються граничні точки деталей для коригування їх положення.
- **Оптимізація розкрою** – використовується аналіз параметрів деталей для вибору оптимального розташування з урахуванням мінімізації залишків матеріалу.
- **Застосування лінійних ефектів** – визначення технологічних допусків на розміщення деталей відповідно до специфікації матеріалу.
- **Генерація схем розкрою** – визначення можливих варіантів розташування деталей, їх поділ на секції та розрахунок загальної площі використаного матеріалу.

### **Візуалізація результатів**

Для представлення розкрою використовується графічний інтерфейс Windows Forms, що включає наступні елементи:

- **Відображення деталей у вигляді графічних об'єктів** – кожна деталь представлена багатокутником, який масштабується відповідно до обраних параметрів.
- **Колірне кодування деталей** – різні елементи розрізняються за кольорами для покращення візуального сприйняття.
- **Масштабування схеми** – автоматичне коригування розмірів відображуваних деталей для оптимального розміщення на екрані.
- **Динамічна взаємодія користувача** – можливість вибору деталей та їх аналізу у вікні візуалізації.

Ширина матеріалу =1200 мм. Довжина схеми розкрою =1930 мм. Міжлекальний місток =3 мм. Процент використання матеріалу=72.60%

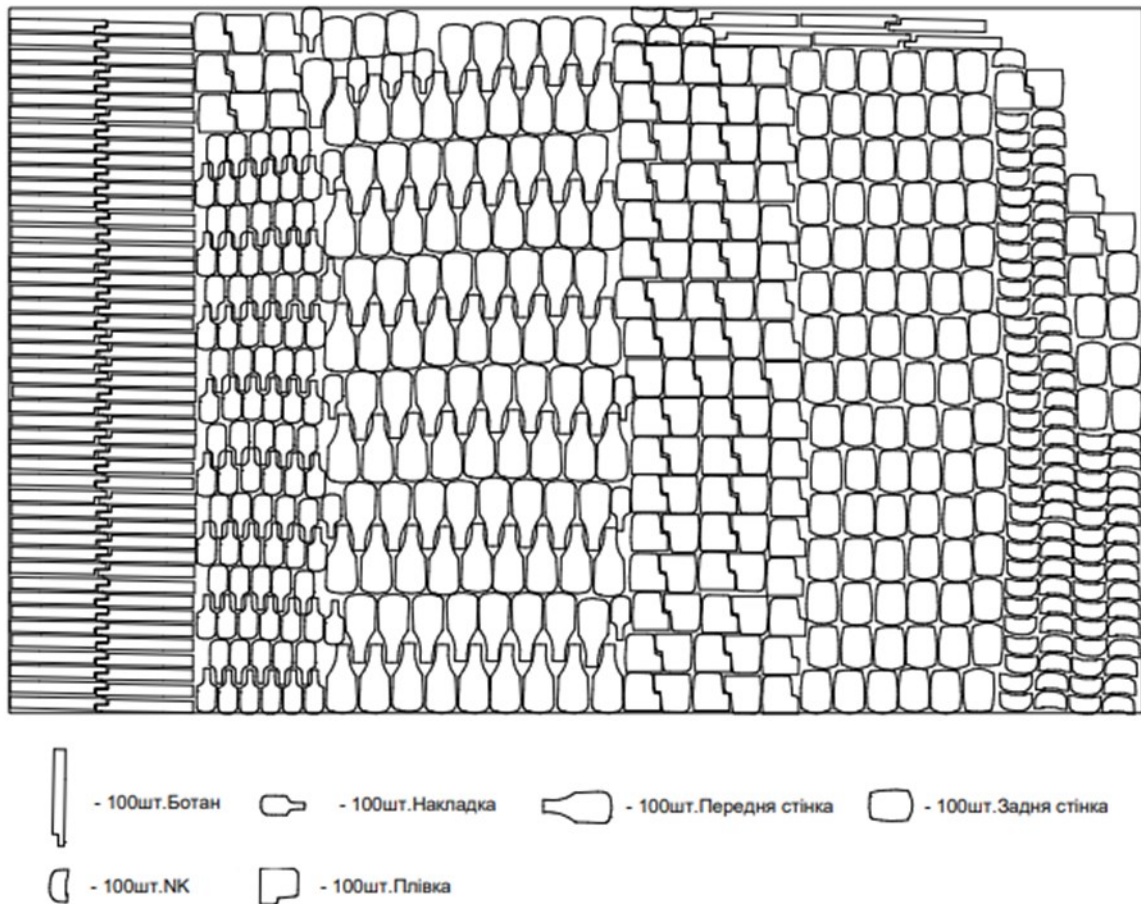


Рис В.2. Приклад згенерованої схеми розкрою

### Оптимізація розкрою та сортування

Процес розміщення деталей на матеріалі передбачає сортування їх за розмірами, що дозволяє забезпечити ефективне використання площі. Застосовуються наступні алгоритми:

- **Сортування деталей за висотою** – деталі з найбільшою висотою розташовуються першими, що дозволяє рівномірно розподілити матеріал.
- **Групування деталей у секції** – програмне забезпечення формує групи деталей, які можуть бути розташовані поруч, що зменшує кількість відходів.

- **Оптимізація площі використання** – для кожної деталі розраховується коефіцієнт зайнятої площі, що дозволяє визначити найбільш ефективне розміщення.

### **Збереження та експорт даних**

Після розрахунку оптимального розкрою схема може бути збережена у вигляді файлу, що містить наступні параметри:

- Найменування деталей.
- Кількість кожного виду деталей.
- Загальну використану площу матеріалу.
- Коефіцієнт ефективності розкрою.

Ця інформація може бути використана для передачі на верстати з ЧПУ або для подальшого аналізу технологічними службами підприємства.

## **В.2. Результати програмної реалізації інтерактивного коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі шкіргалантереї**

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

На рис. В.4 представлена ця схема розкрою після її коригування за допомогою розробленого програмного продукту для інтерактивного коригування

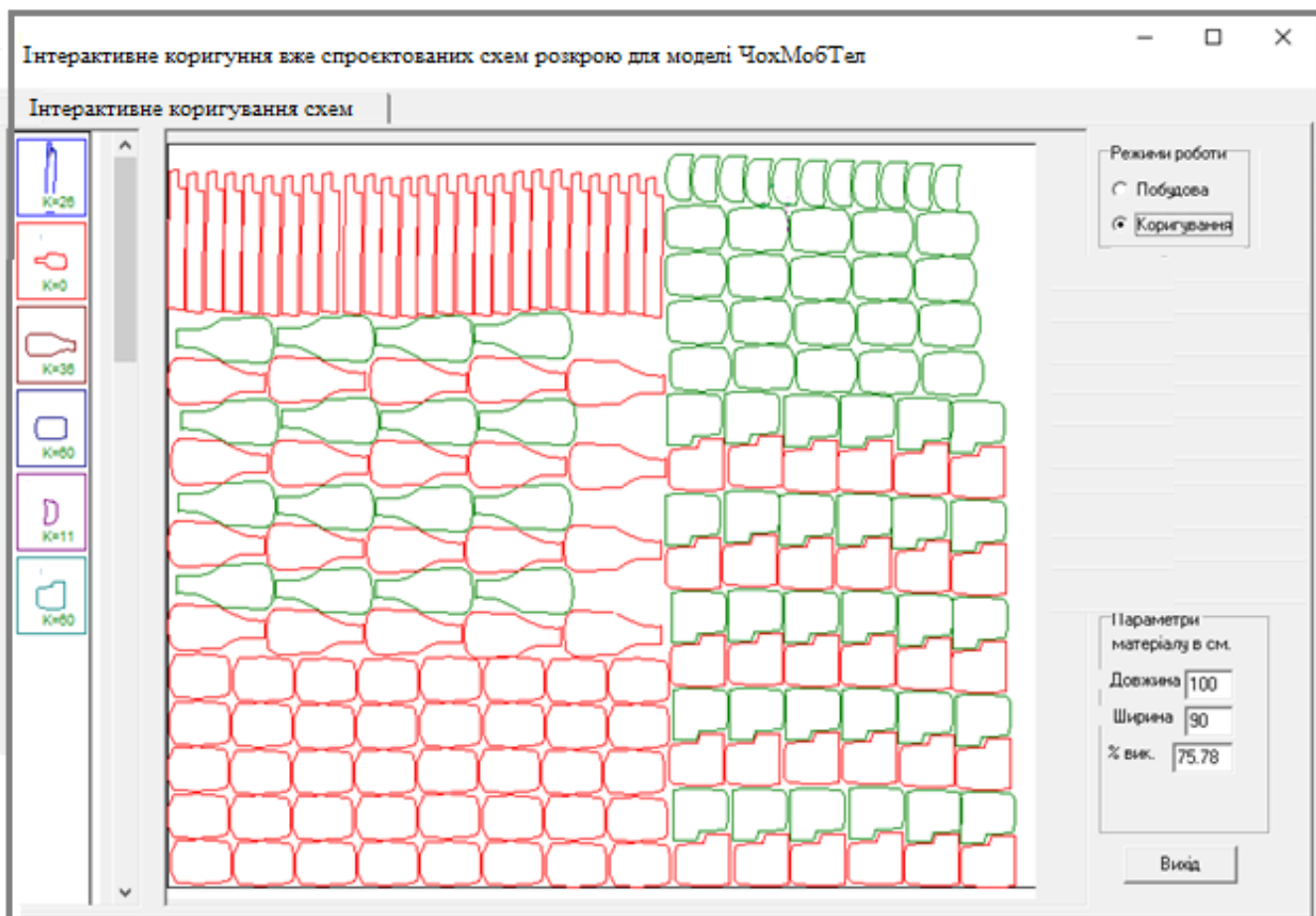


Рис. В.3. Схема розкрою, що спроектована в автоматичному режимі

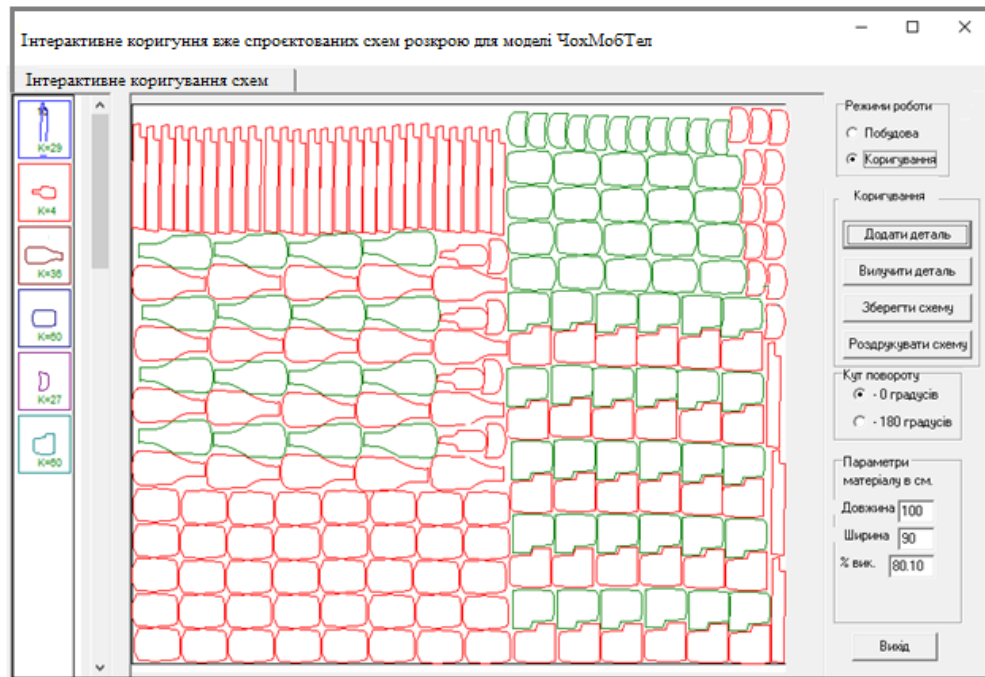


Рис. В. 4. Схема розкрою, що спроектована в автоматичному режимі, після інтерактивного коригування

Це програмне забезпечення 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 підготовчो-розкрійному виробництві в шкіргалантерейному виробництві

### **В.3.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. В.5 представлена основна форма програмного продукту, на якій відображений натуральний матеріал із вадами на ньому та представлене меню деталей, для яких необхідно спроектувати схему розкрою.

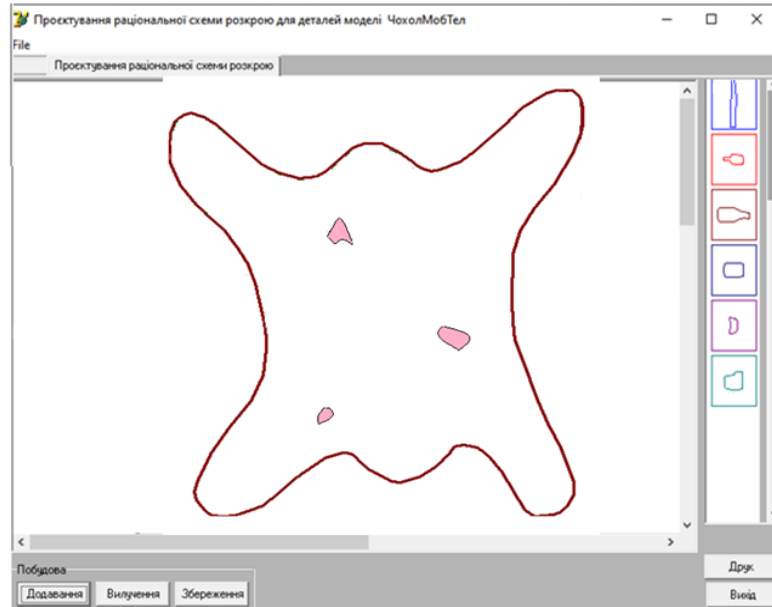


Рис. В.5. Основна форма розробленого програмного продукту

На рис. В.6 представлений процес інтерактивної побудови раціональної схеми розкрою натурального матеріалу зі складною формою зовнішнього контуру для деталей шкіргалантереї.

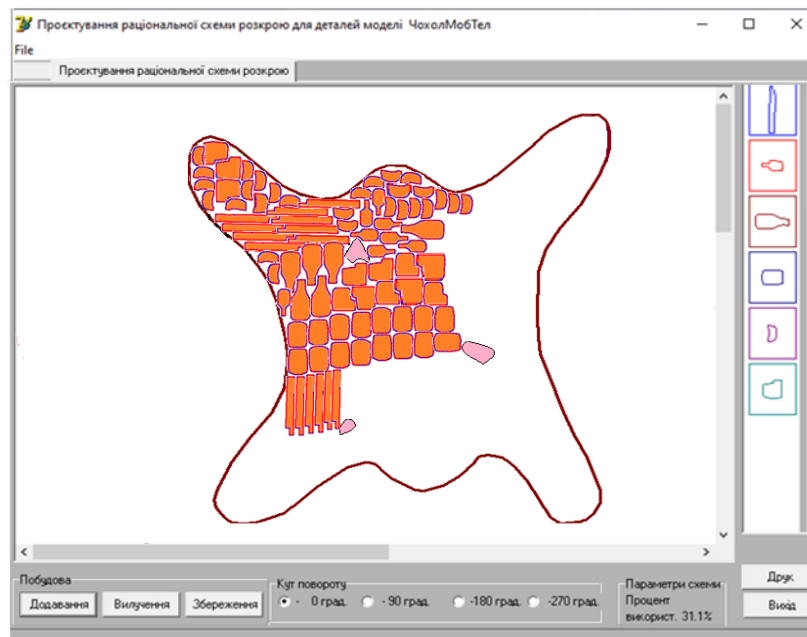


Рис. В.6. Процес інтерактивної побудови раціональної схеми розкрою натурального матеріалу зі складною формою зовнішнього контуру для деталей шкіргалантереї

На рис. В.7 представлена інтерактивно побудована раціональна схема розкрою натурального матеріалу зі складною формою зовнішнього контуру для деталей шкіргалантереї.

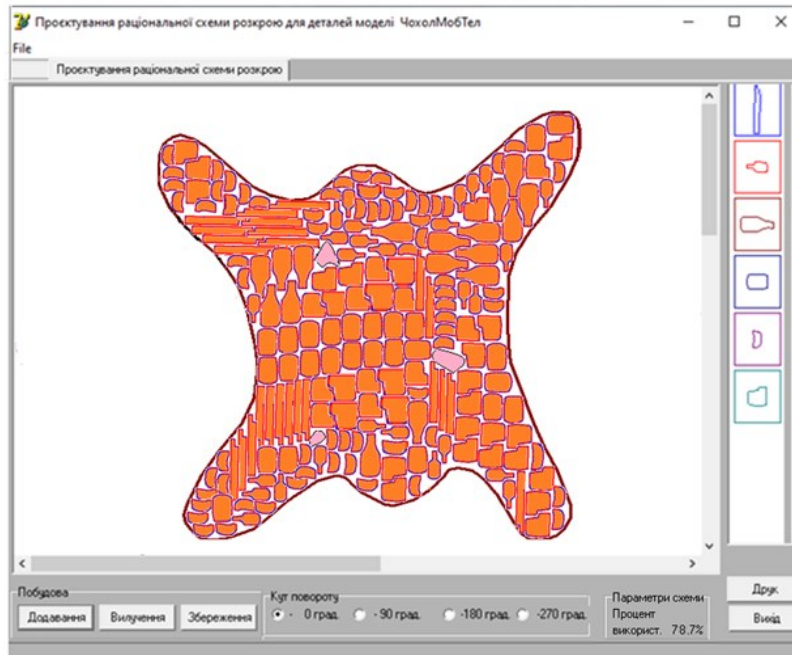


Рис. В.7. Інтерактивно побудована раціональна схема розкрою натурального матеріалу зі складною формою зовнішнього контуру для деталей шкіргалантереї

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.

## НАСТАНОВА

щодо використання комп'ютерної програми «Інтерактивне проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів» (*ІПРСРРМ*)

**Основні відомості:** комп'ютерна програма *ІПРСРРМ* представляє собою програмний продукт для інтерактивного проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів на плоскі геометричні об'єкти довільної форми. В результаті інтерактивного проектування раціональних розкрійних схем отримаємо графічне зображення раціональної схеми розкрою та текстовий файл \*.sxt із інформацією про спроектовану розкрійну схему.

**Призначення:** для інтерактивного проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів та отримання інформації про розкрійні схеми, що може бути в подальшому використана безпосередньо у процесі автоматичного розкрою рулонних матеріалів; для коригування вже спроектованих схем розкрою, інформація про які зберігається у текстову файлі \*.sxt

**Функціональні можливості:** комп'ютерна програма *ІПРСРРМ* дозволяє інтерактивно проектувати раціональні розкрійні схеми рулонних матеріалів із врахуванням технологічних параметрів та особливостей контурів деталей.

**Технічні характеристики та порядок користування:** Запропоноване програмне забезпечення має зручний інтерфейс та не потребує додаткових знань з комп'ютерної техніки. Це програмне забезпечення може бути використане для інтерактивного проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів на підприємствах легкої промисловості та в інших галузях.

Для запуску програмного забезпечення необхідно знайти файл *PrIntRozkRulMat.exe* та запустити його. Після цього на екрані монітору з'явиться наступна форма програми (рис. Г.1).

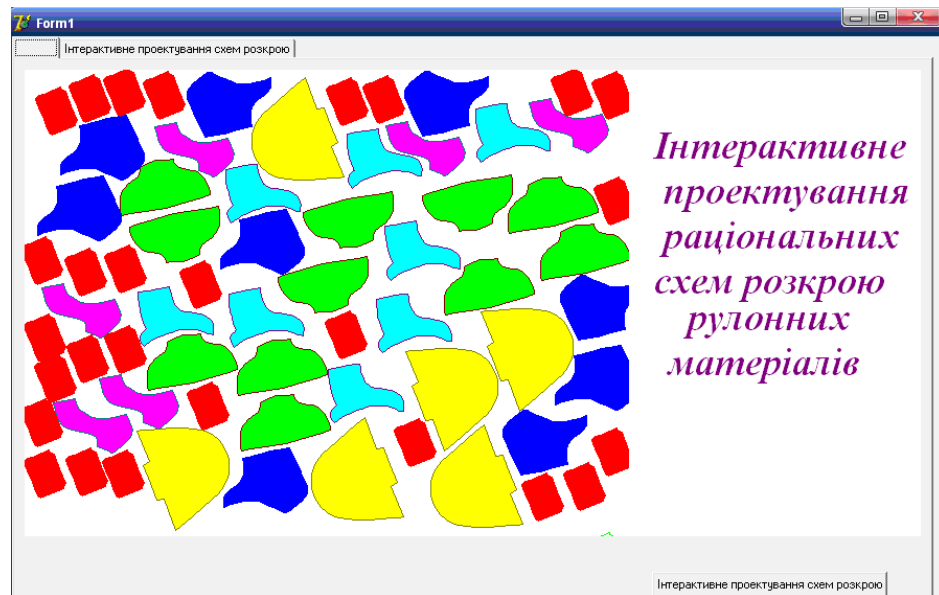


Рис. Г.1

При натисканні на кнопку «Інтерактивне коригування схем розкрою» з'явиться основна форма з режимами роботи програми (рис. Г.2).

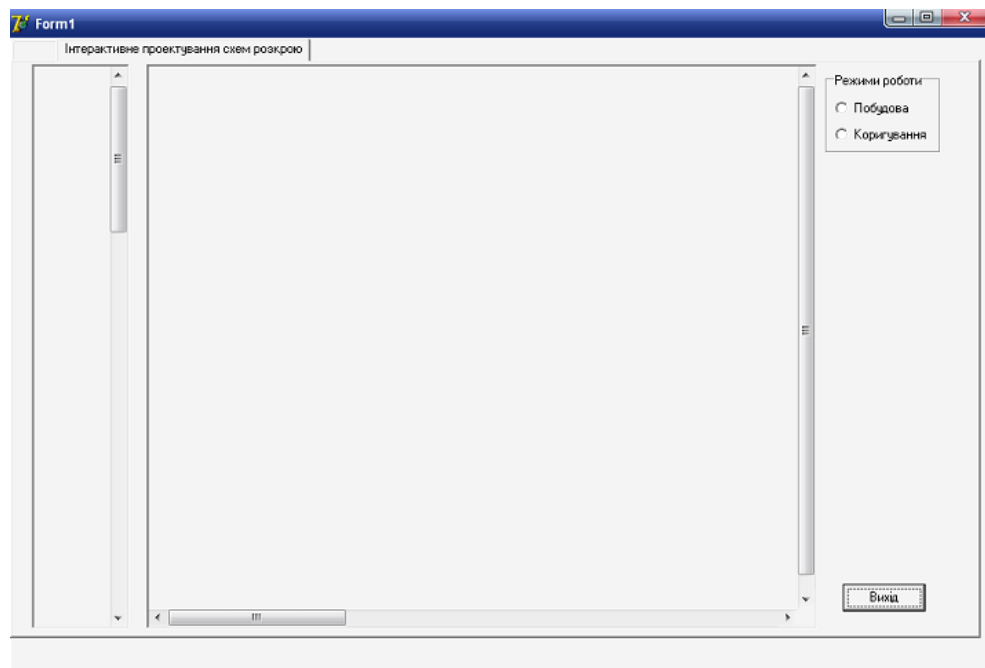


Рис. Г.2

На цьому етапі необхідно вибрати режим роботи програми. Якщо необхідно спроектувати нову раціональну схему розкрою, то ми виберемо режим роботи – «Побудова». Якщо необхідно скоригувати вже побудовану схему розкрою, що

зберігається у файлі \*.sxt, то ми виберемо режим роботи – «Коригування». Нехай вибрали режим роботи «Побудова». Після цього основна форма програми прийме наступний вигляд(рис. Г.3):

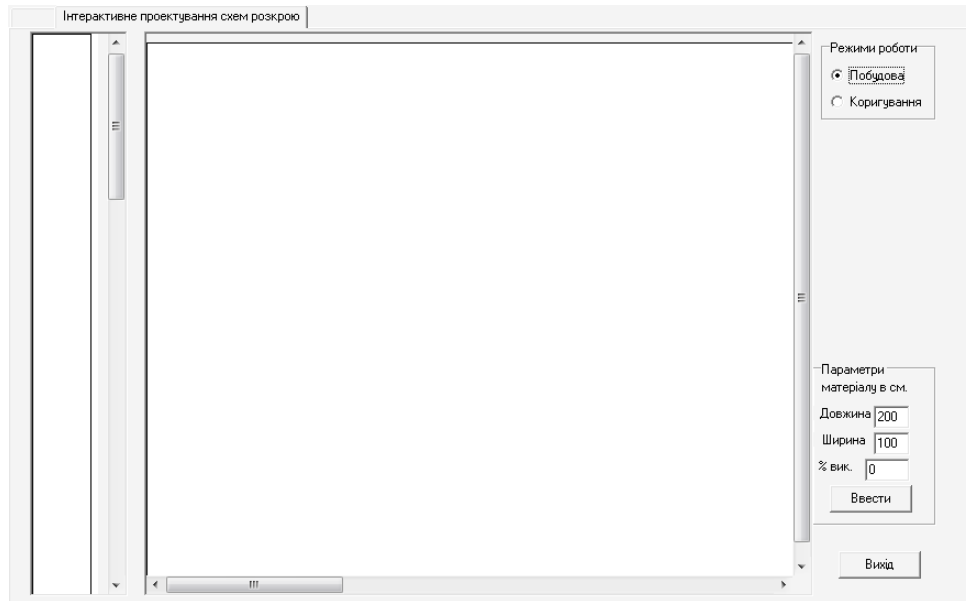


Рис. Г.3

Після вкажання довжини та ширини матеріалу та натиску на кнопку «Ввести» основна форма програми прийме наступний вигляд(рис. Г.4):

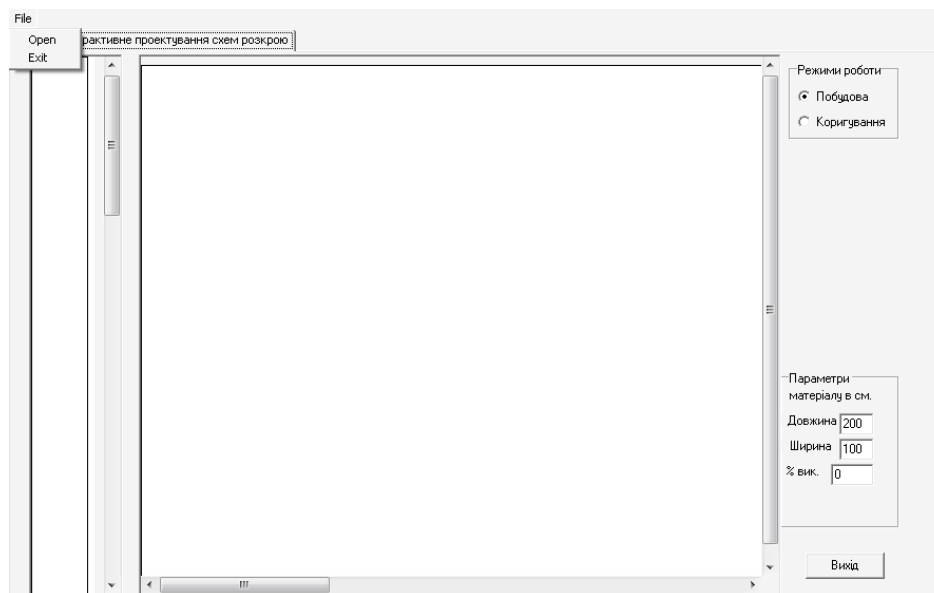


Рис. Г.4

Далі необхідно ввести інформацію про зовнішні контури плоских геометричних об'єктів, що знаходиться у файлі \*.dgt. Для цього необхідно підвести курсор миші на іконку «File» та натиснути на кнопку миші. Після цього основна форма програми прийме наступний вигляд(рис. Г.5):

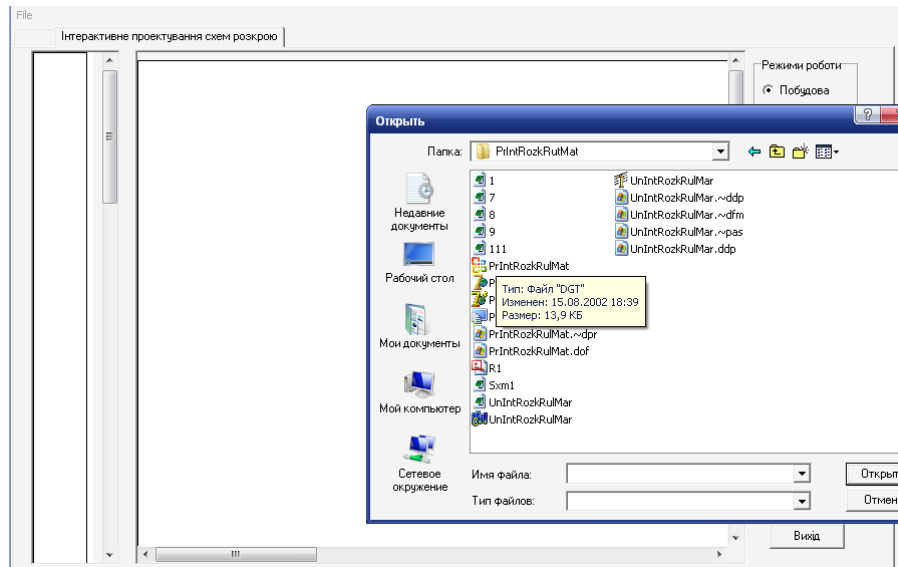


Рис. Г.5

Виберемо необхідний файл \*.dgt з інформацією по зовнішні контури плоских геометричних об'єктів ( в нашому випадку 111. .dgt) та натиснемо на кнопку «Открыть». Після цього основна форма програми прийме наступний вигляд(рис. Г.6):

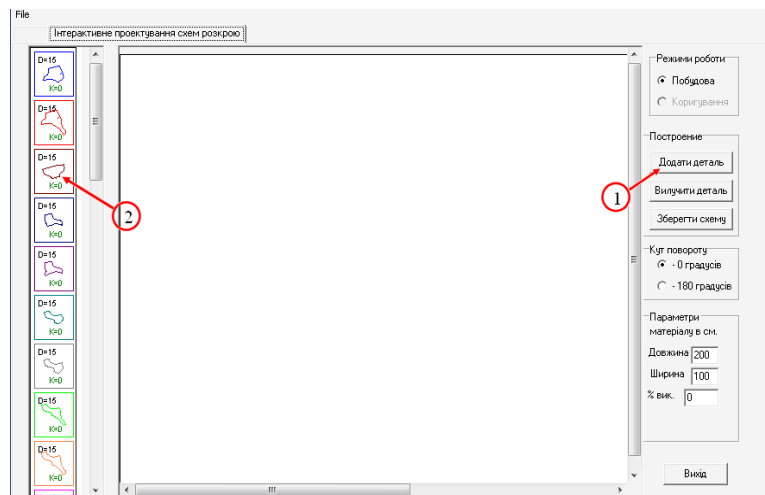


Рис.Г.6

Ліворуч на основній формі з'явилися іконки із зображенням плоских геометричних об'єктів, що необхідно розмістити. На іконці із плоским геометричним об'єктом зверху вказано максимальну кількість цього виду плоских геометричних об'єктів у схемі розкрою, внизу іконки вказано кількість вже розміщених плоских геометричних об'єктів цього виду.

Для того, щоб розмістити плоский геометричний об'єкт на матеріалі прямокутної форми заданих розмірів необхідно підвести курсор миші на кнопку «Додати деталь» та вибрати необхідний плоский геометричний об'єкт підвівши курсор миші на вибраний плоский об'єкт та натиснути на кнопку миші (рис.6). Після цього вибраний плоский геометричний об'єкт стає активним і його можна розмістити матеріалі прямокутної форми в вибраному місці(рис. Г.7).

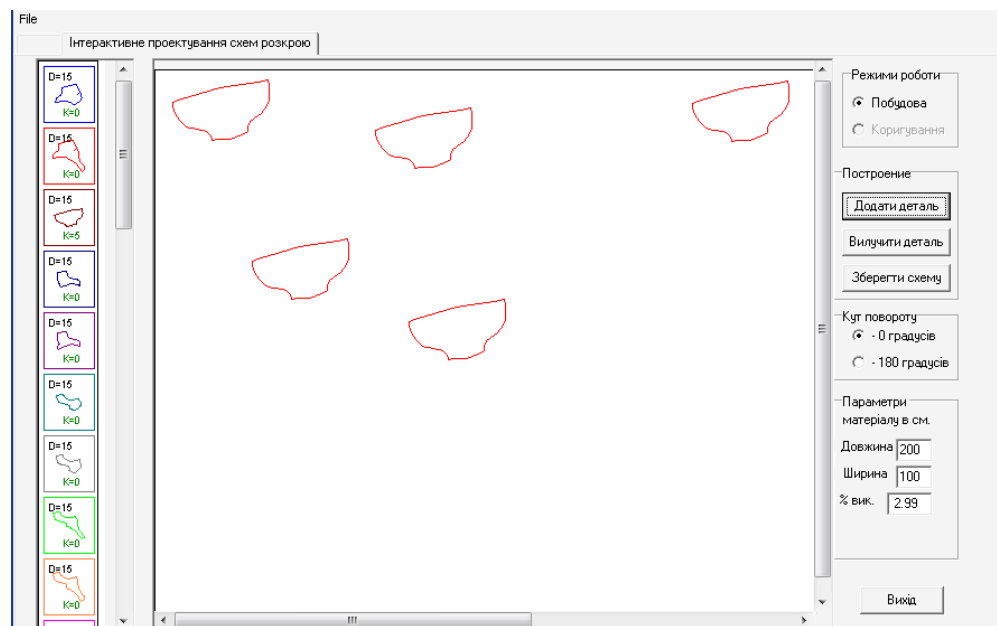


Рис. Г.7

Для того, щоб повернути плоский геометричний об'єкт на 180° необхідно підвести курсор миші до іконки «180 градусів» та натиснути на кнопку миші та продовжувати розміщувати вибраний плоский геометричний об'єкт, що повернутий на 180° (рис. Г.8).

При розміщенні плоских геометричних об'єктів на матеріалі програмний продукт забезпечує контроль не перетину активного плоского геометричного об'єкту із вже розміщеними плоскими геометричними об'єктами та границею матеріалу.

Приклад процесу проектування розкрійної схеми представлений на рис.Г.8.

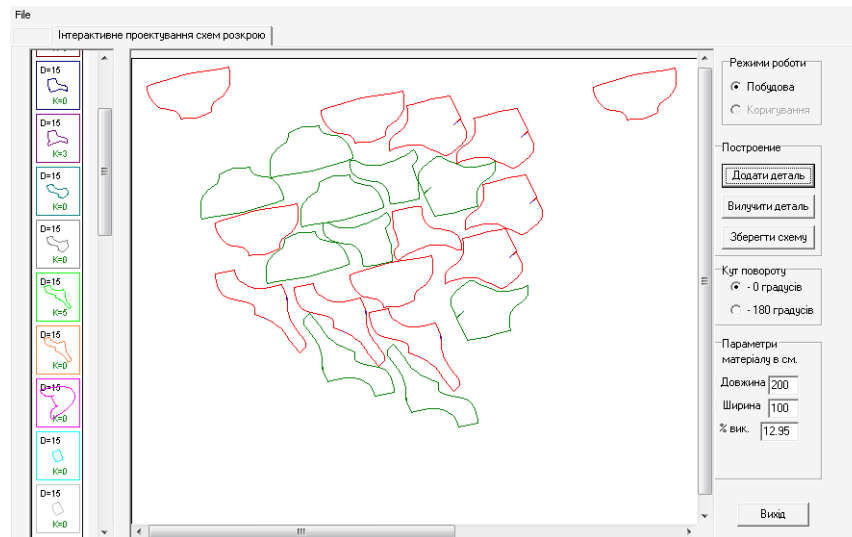


Рис. Г.8

Програмний продукт має можливість за бажанням вилучити будь-який із вже розміщених плоских геометричних об'єктів(рис. 9). Для цього необхідно підвести курсор миші до кнопки «Вилучити деталь», а потім вказати плоский геометричний об'єкт, що необхідно вилучити із розкрійної схеми, підвівши курсор миші на цей об'єкт та натиснути кнопку миші(рис. Г.9)



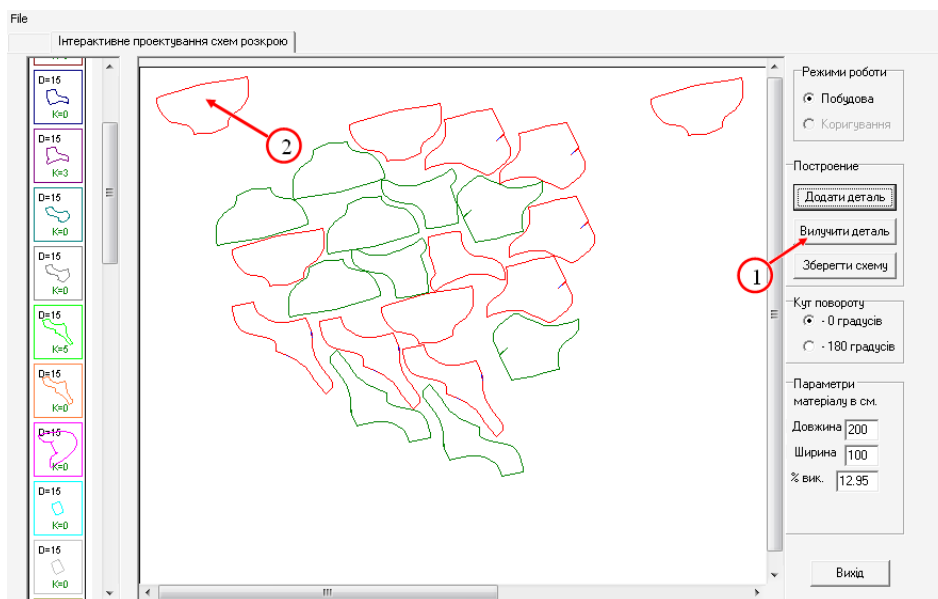


Рис. Г.9

Після цього із схеми розкрою буде вилучений вибраний плоский геометричний об'єкт(рис. Г.10).

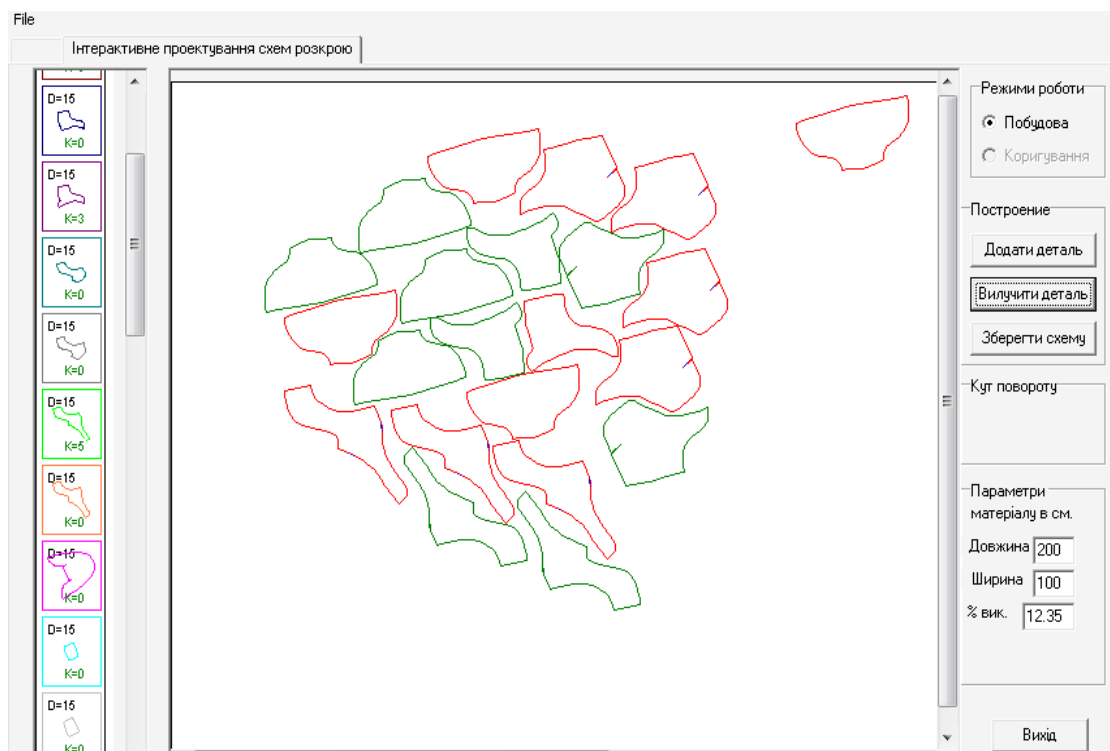


Рис. Г.10

Проектування схеми розкрою можна завершити на будь-якій стадії її проектування та продовжити в більш зручний час. Для цього необхідно зберегти фрагмент вже побудованої схеми розкрою у файлі \*.sxm.

Щоб зберегти фрагмент вже побудованої схеми розкрою у файлі \*.sxm необхідно підвести курсор миші до кнопки «Зберегти схему», потім натиснути кнопку миші та вказати ім'я файлі \*.sxm, в якому буде зберігатись фрагмент вже побудованої схеми розкрою (рис. Г.11).

Для продовження проектування схеми розкрою необхідно запустити файл *PrIntRozkRulMat.exe* та вказати режим «Коригування». Потім загрузити файл \*.sxm, в якому ми зберегли фрагмент спроектованої схеми розкрою(рис. Б.13).

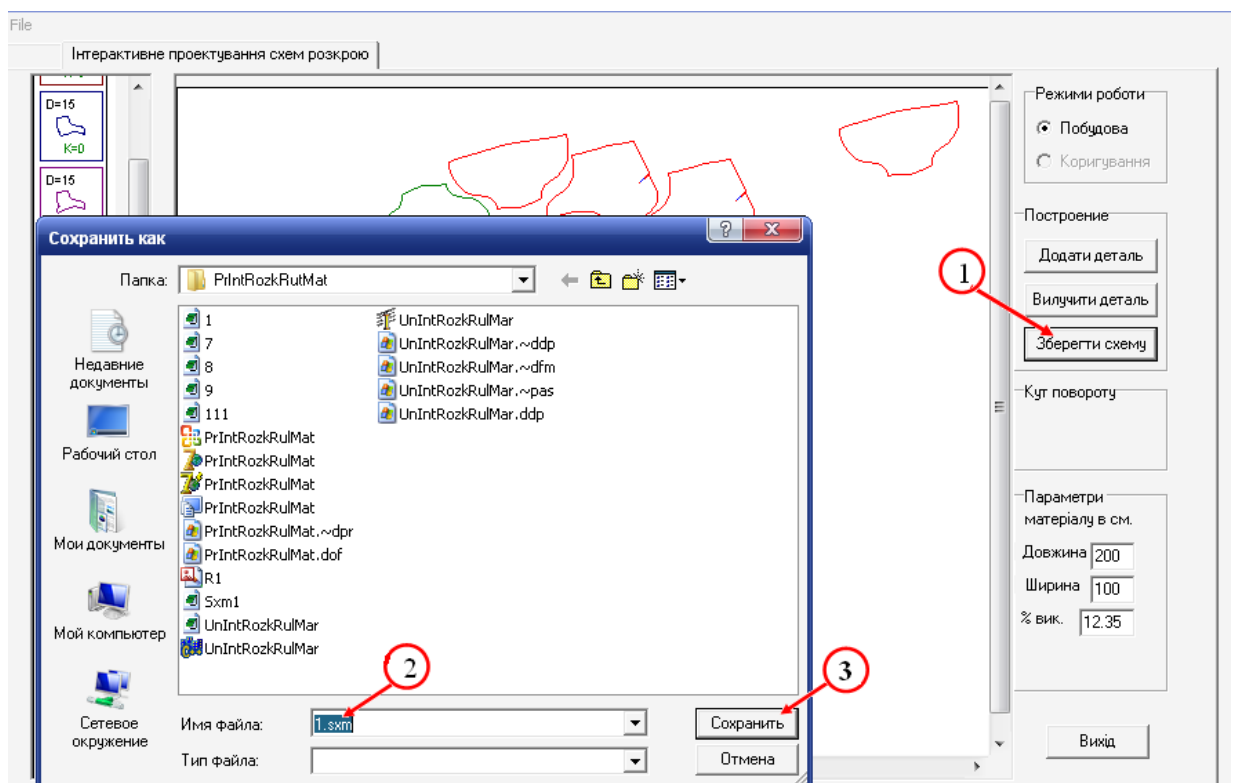


Рис. Г.11

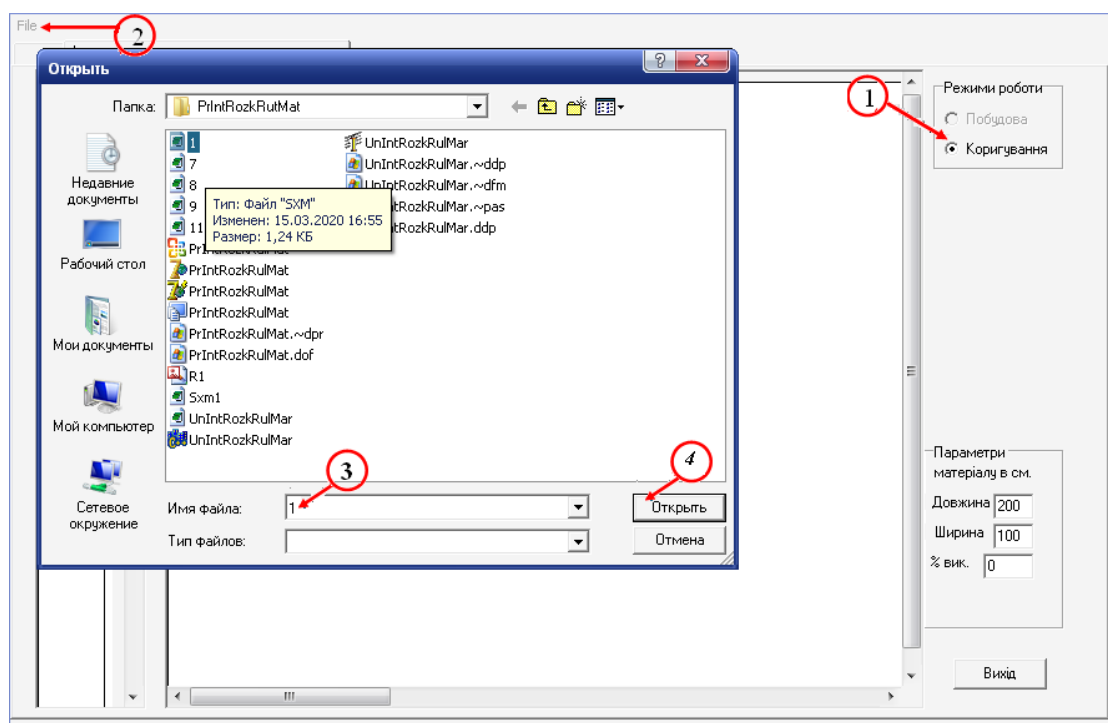


Рис. Г.12

Тоді основна форма програмного продукту прийме наступний вигляд (рис.Г.13).

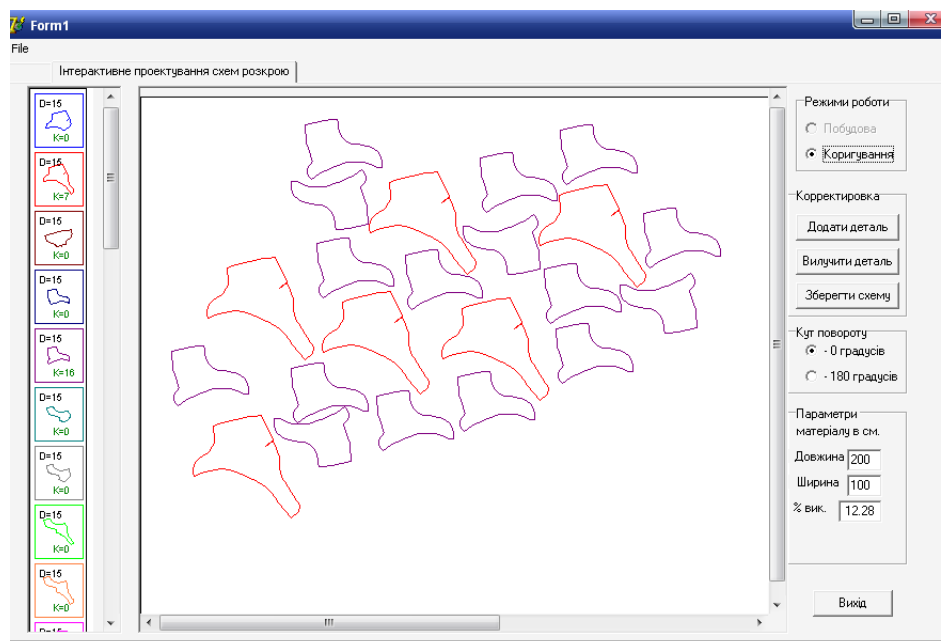


Рис. Г.13

В режимі «Коригування» ми можемо працювати аналогічно як в режимі «Побудова». Приклад зміненої схеми розкрою в режимі «Коригування» представлений на рис. Г.14.

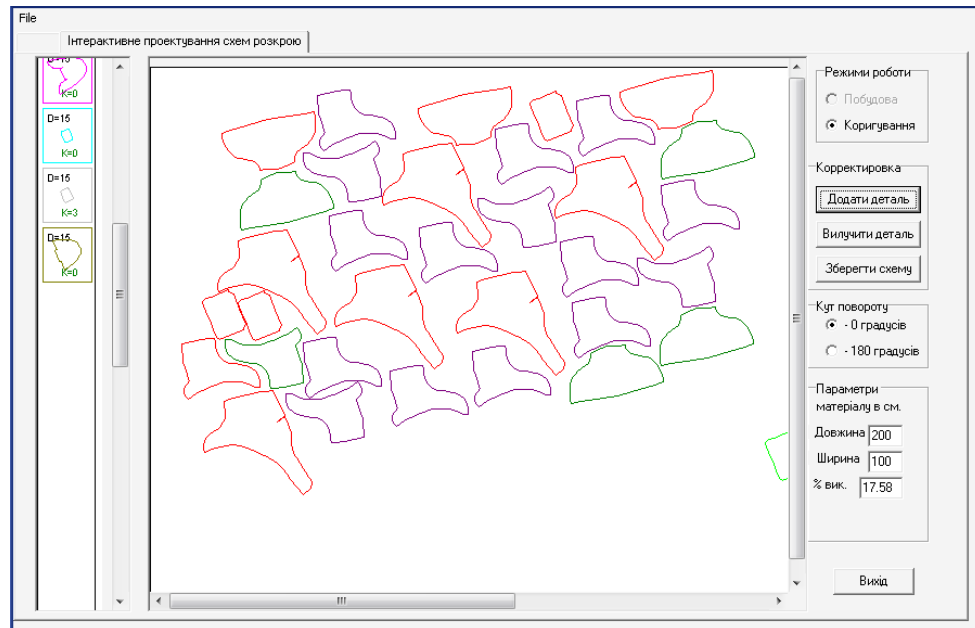


Рис. Г.14.

Для завершення роботи з програмою, користувач повинен закрити вікно шляхом натискання на хрестик у правому верхньому куті вікна або підвести курсор миші на кнопку «Вихід» та натиснути на кнопку миші..

Швидкість роботи алгоритмів генерації залежить від ряду факторів:

- Характеристики процесора та оперативної пам'яті комп'ютера користувача.
- Складність контурів деталей, котрі описані у вхідному DGT-файлі.
- Кількість деталей, обраних для генерації розкрійних схем.
- Режим роботи програми, котрий визначає допустимі межі повороту (орієнтації) деталей.

Програма працює із файлами формату DGT, в яких зберігається інформація про зовнішні контури плоских геометричних об'єктів. Для коректної роботи програми, ці файли повинні мати наступний вид:

| Опис даних у файлі                                                                                                                                   | Скільки займають рядків у файлі                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Назва моделі                                                                                                                                         | 1                                                                                                                               |
| Службова інформація (примітки, котрі не впливають на роботу програми)                                                                                | 1                                                                                                                               |
| Кількість деталей, описаних у файлі                                                                                                                  | 1                                                                                                                               |
| Назва кожної деталі.                                                                                                                                 | Кількість рядків визначається кількістю деталей, описаних у файлі.                                                              |
| Кількість вершин кожної деталі та потреба у цих деталях. Кількість вершин та потреба повинні бути розділені одним пробілом.                          | Кількість рядків визначається кількістю деталей, описаних у файлі.                                                              |
| Пари X та Y координат кожної вершини для всіх деталей. Значення розділяються пробілом.<br>Причому координати першої та останньої вершини співпадають | Кількість рядків визначається кількістю деталей, описаних у файлі, помноженою на кількість точок, що міститься у кожній деталі. |

Представимо частину вхідного файлу формату DGT:

328 – назва виробу

170 – службова інформація

13 – кількість деталей

|          |   |                 |
|----------|---|-----------------|
| Деталь1  | } | – Назва деталей |
| Деталь 2 |   |                 |
| Деталь3  |   |                 |
| Деталь 5 |   |                 |
| Деталь6  |   |                 |
| Деталь 7 | } |                 |
| Деталь 8 |   |                 |
| Деталь 9 |   |                 |
| Деталь10 |   |                 |
| Деталь11 |   |                 |
| Деталь12 |   |                 |
| Деталь13 |   |                 |

49 15 – кількість вершин на зовнішньому контурі першої деталі та потреба в ній(Деталь1)

65 15– кількість вершин на зовнішньому контурі другої деталі та потреба в ній (Деталь2)

43 15

70 15

78 15

65 15

69 15

79 15

76 15

111 15

19 15

21 15

31 15 – кількість вершин на зовнішньому контурі тринадцятої деталі та потреба в ній (Деталь13)

185.50 148.80 – координати першої вершини першої деталі (Деталь1)

190.50 148.10 – координати другої вершини першої деталі (Деталь1)

196.80 143.10

208.50 133.20

216.20 126.20

220.30 121.40

-----

-----

-----

154.60 136.50

166.10 141.50

176.50 146.30

180.10 148.30

185.50 148.80

263.35 206.05 – координати останньої вершини першої деталі (Деталь1)

264.20 204.00 – координати першої вершини другої деталі (Деталь2)

265.00 199.40 – координати другої вершини другої деталі (Деталь2)

264.80 195.00

262.90 190.10

-----

-----

-----

218.80 180.70

226.00 189.50

238.50 205.30

249.40 218.60

261.40 208.10

263.35 206.05– координати останньої вершини другої деталі (Деталь2)

-----

-----

-----

348.80 68.70 – координати першої вершини тринадцятої деталі (Деталь13)

343.90 57.30– координати другої вершини тринадцятої деталі (Деталь13)

335.00 46.00

324.10 35.10

314.00 29.60  
 300.30 25.40  
 283.90 22.30  
 268.00 21.80  
 243.70 21.80  
 220.50 23.20  
 198.60 24.30  
 186.90 25.40  
 175.60 27.30  
 200.40 85.00  
 188.00 92.90  
 201.60 126.70  
 214.71 160.69  
 229.17 158.01  
 250.39 217.12  
 259.95 210.80  
 269.26 203.62  
 286.02 189.49  
 303.94 174.69  
 321.71 158.11  
 332.99 146.90  
 342.87 133.45  
 350.03 121.03  
 353.66 110.12  
 354.19 94.71  
 352.99 80.38  
 348.80 68.70– координати останньої вершини тринадцятої деталі (Деталь13)

Файл \*.sxm із інформацією про схему розкрою має такий вигляд

111.DGT

13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13



```

0 0 6 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2
6.653    200000    100000
3      0    1    38833    23944
3      1    2    52716    25956
3      0    3    57746    16700
3      1    4    71630    18511
3      0    5    70624    26962
3      0    6    53924    33803
4      1    7    38028    34205
4      1    8    71630    36016
13     1    9    86519    28773
13     0   10    88129    48692

```

та наступну структуру:

111.DGT – перший рядок(імя файлу із інформацією про зовнішні контури деталей, для яких будується схема розкою

13 – другий рядок(кількість деталей, інформацією про зовнішні контури яких міститься у файлі 111.DGT

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 – третій рядок (порядкові номери деталей у файлі 111.DGT)

0 4 0 0 5 0 0 0 0 0 0 0 0 – четвертий рядок(відповідна кількість деталей цього рядкового номеру у розкрійній схемі)

6.653 200000 100000 – четвертий рядок(6.653 – процент використання матеріалу для схеми, що представлена у файлі \*.sxt; 200000 – довжина матеріалу в сотих мм, тобто 200 см; 100000 – матеріалу в сотих мм)

3 0 1 38833 23944 – п'ятий рядок та всі рядки нижче(3 – порядковий номер деталі у файлі 111.DGT; 1 – признак орієнтації деталі(якщо признак дорівнює 0, то деталь на схемі розміщується у вихідному положенні; якщо признак дорівнює 1, то деталь на схемі розміщується повернутою на 180°); 1 – порядковий номер деталі у схемі розкою; 38833 23944 – відповідно значення координати X та координати Y полюсу деталі відносно лівого нижнього кута матеріалу(в сотих міліметра).

## НАСТАНОВА

щодо використання комп'ютерної програми «Інтерактивне проектування раціональних схем розкрою шкір» (ІПРСРШ)

**Основні відомості:** комп'ютерна програма *ІПРСРШ* представляє собою програмний продукт для інтерактивного проектування раціональних схем розкрою матеріалів зі складною конфігурацією зовнішніх контурів(шкір) на плоскі геометричні об'єкти довільної форми. В результаті інтерактивного проектування раціональних розкрійних схем отримуємо графічне зображення раціональної схеми розкрою та текстовий файл \*.sxt із інформацією про спроектовану розкрійну схему.

**Призначення:** для інтерактивного проектування раціональних схем розкрою матеріалів зі складною конфігурацією зовнішніх контурів(шкір) та отримання інформації про розкрійні схеми, що може бути в подальшому використана безпосередньо у процесі автоматичного розкрою шкір.

**Функціональні можливості:** комп'ютерна програма *ІПРСРШ* дозволяє інтерактивно проектувати раціональні розкрійні схеми матеріалів зі складною конфігурацією зовнішніх контурів(шкір) із врахуванням технологічних параметрів та особливостей контурів деталей.

**Технічні характеристики та порядок користування:** Запропоноване програмне забезпечення має зручний інтерфейс та не потребує додаткових знань з комп'ютерної техніки. Це програмне забезпечення може бути використане для інтерактивного проектування раціональних схем розкрою матеріалів зі складною конфігурацією зовнішніх контурів(шкір) на підприємствах легкої промисловості та в інших галузях.

Для запуску програмного забезпечення необхідно знайти файл *PrIntRozkNatMat.exe* та запустити його. Після цього на екрані монітору з'явиться наступна форма програми (рис. Д.1).

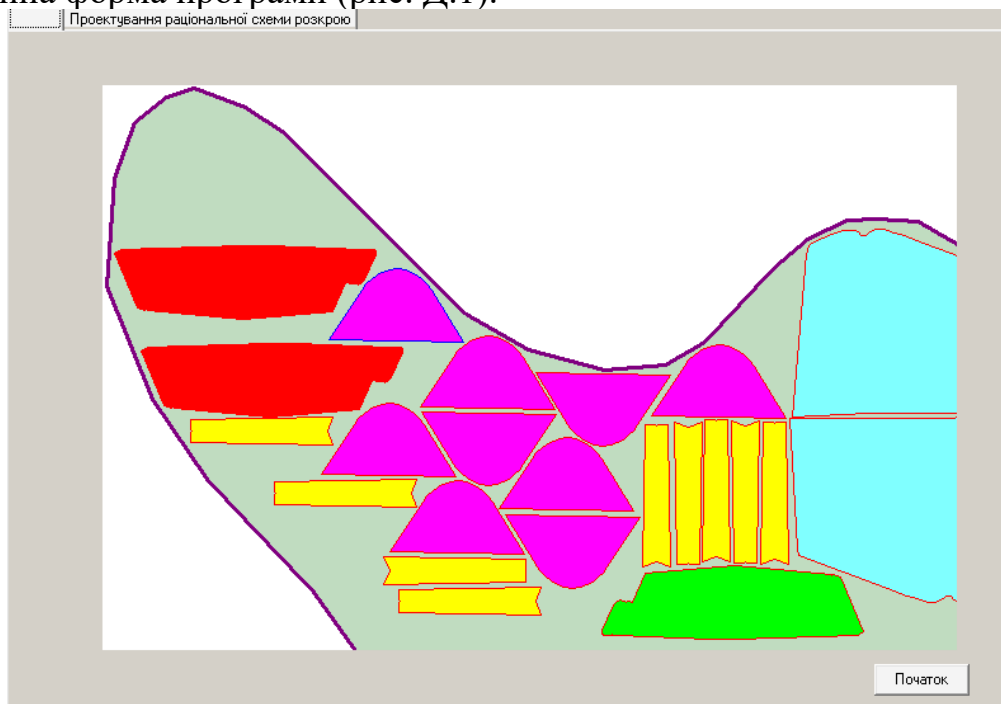


Рис. Д.1

При натиску на кнопку «Початок» з'явиться основна форма з режимами роботи програми (рис. Д.2).

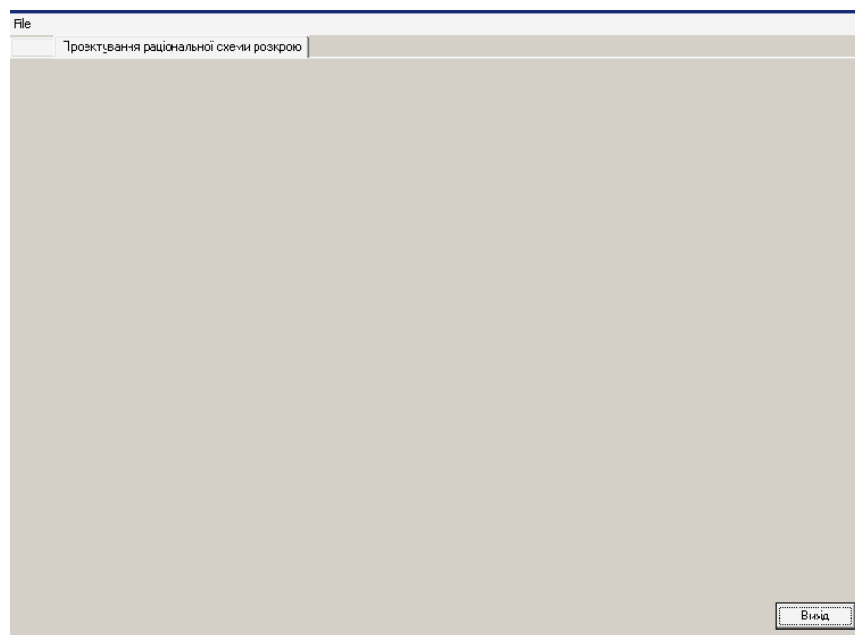


Рис. Д.2

Після цього необхідно підвести курсор миші на іконку “File” та натиснути на кнопку миші, потім вибрати іконку “Open” натиснути на кнопку миші. Потім вибрати файл \*.dgt з інформацією про деталі та про конфігурацію матеріалу та натиснути на кнопку «Відкрити»(рис. Д.3).

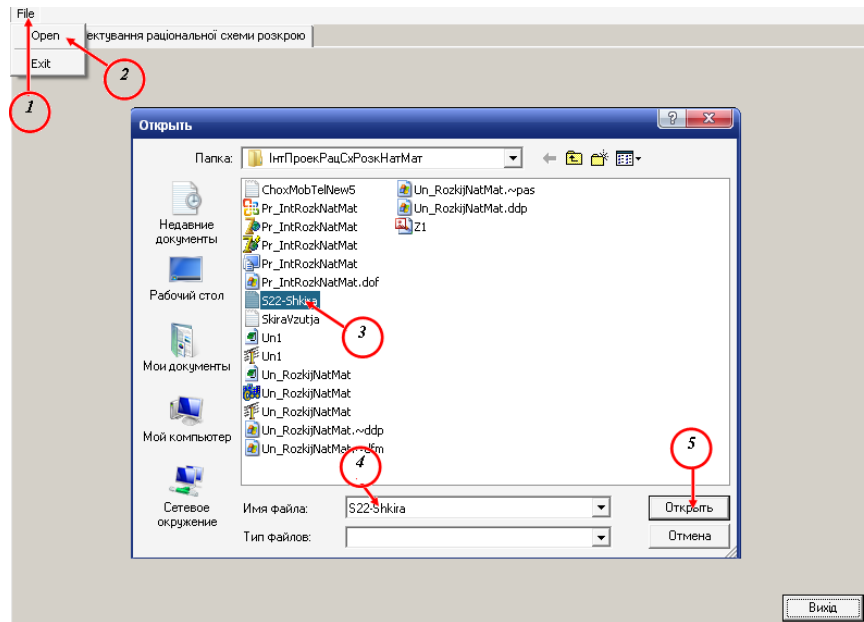


Рис. Д.3

Після цього основна форма програми прийме наступний вигляд(рис. Д.4):

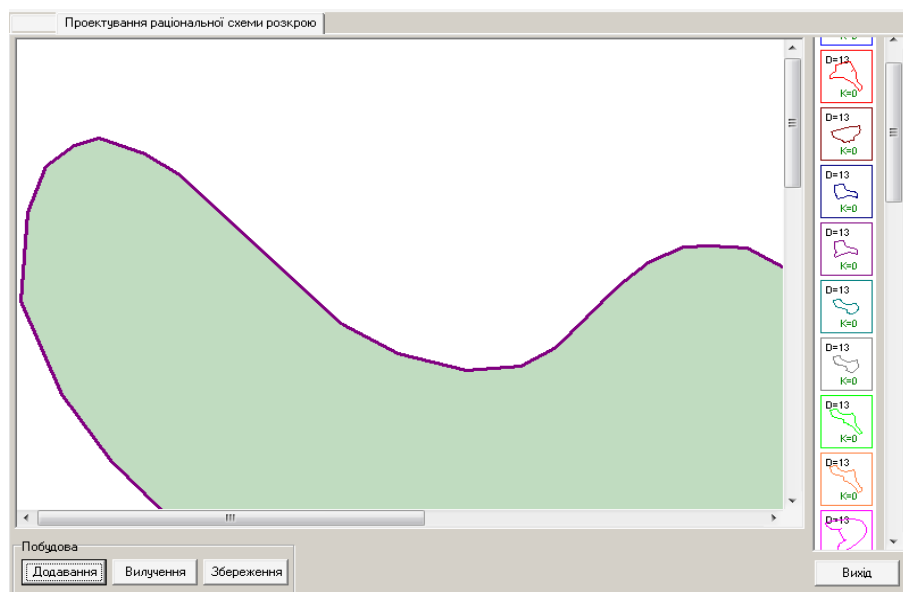


Рис. Д.4

В центрі представлений матеріал зі складною конфігурацією зовнішнього контуру(шкіра) для якого необхідно спроектувати раціональну схему розкрою.

Праворуч на основній формі з'явилися іконки із зображенням плоских геометричних об'єктів, що необхідно розмістити. На іконці із плоским геометричним об'єктом зверху вказано максимальну кількість цього виду плоских геометричних об'єктів у схемі розкрою, внизу іконки вказано кількість вже розміщених плоских геометричних об'єктів цього виду.

Для того, щоб розмістити плоский геометричний об'єкт на матеріалі зі складною конфігурацією зовнішнього контуру(шкірі) заданих розмірів необхідно підвести курсор миші на кнопку «Додавання» **1**, вибрати необхідний плоский геометричний об'єкт підвівши курсор миші на вибраний плоский об'єкт та натиснути на кнопку миші **3**, вказати кут повороту деталі **2**, за допомогою миші вибрати положення деталі на матеріалі та зафіксувати деталь на матеріалі натиснувши на кнопку миші **4** (рис. Д.5).

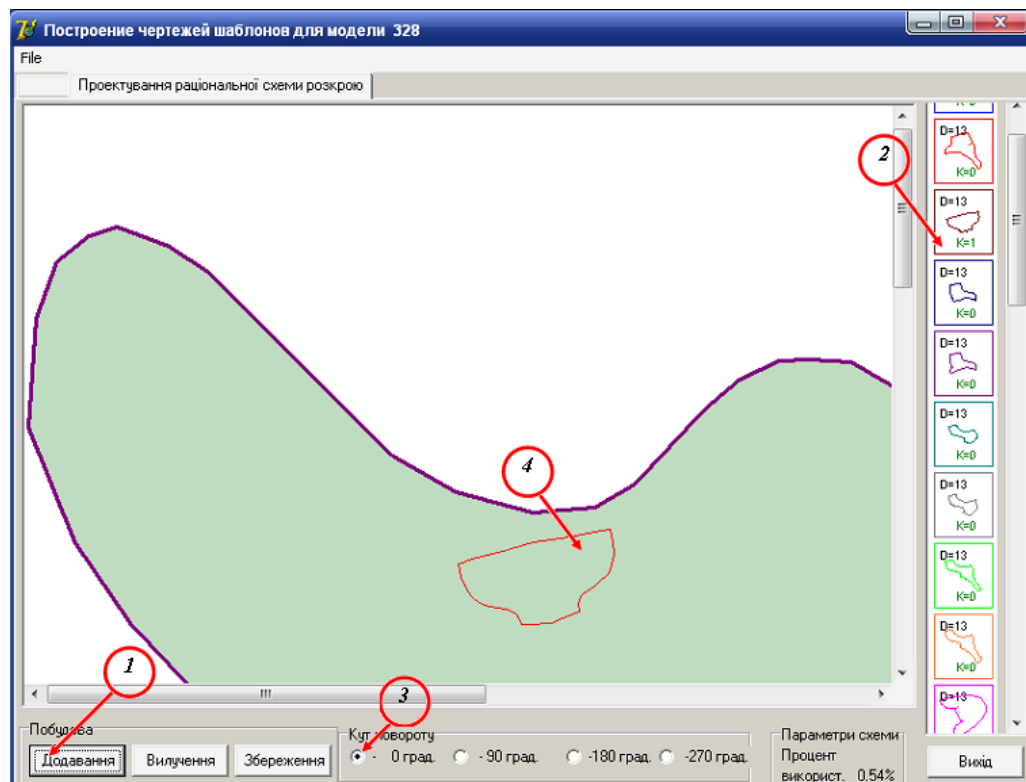


Рис. Д.5

Якщо активна деталь знаходиться за межами матеріалу або перетинає границю матеріалу вона не буде розміщена, а програма виведе повідомлення *«Деталь перетинає границю матеріалу або знаходиться за межами матеріалу!»*(рис.Д.6).

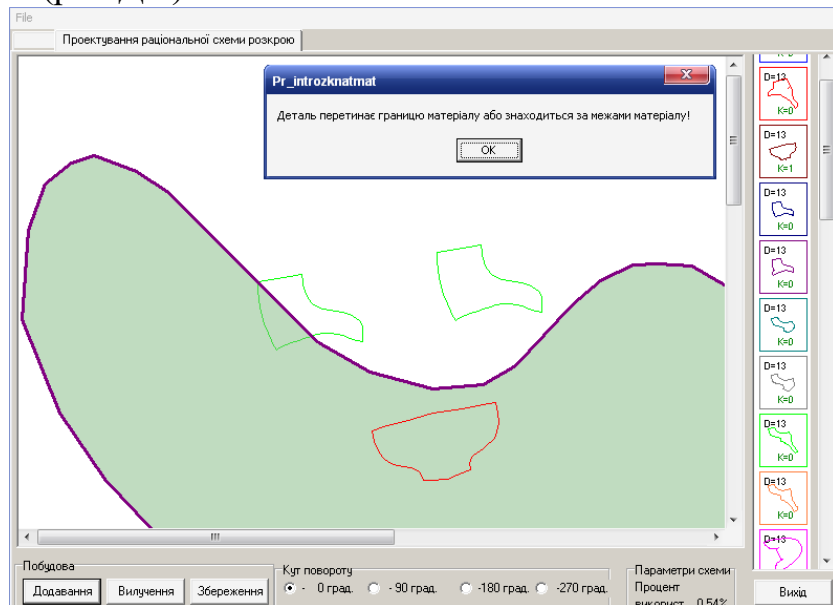


Рис. Д.6

Якщо активна деталь перетинає одну із вже розміщених на матеріалі деталей програма не дозволить розмістити активну деталь та виведе на екран монітору повідомлення *«Деталі перетинаються!»* (рис. Д.7).

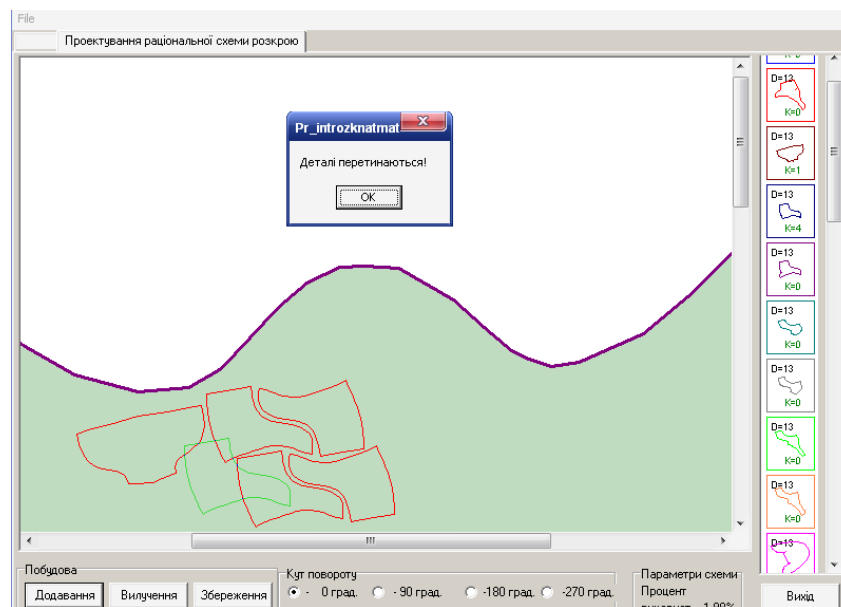


Рис. Д.7

Програмний продукт має можливість за бажанням вилучити будь-який із вже розміщених плоских геометричних об'єктів(рис. Д.8). Для цього необхідно підвести курсор миші до кнопки «Вилучення» **1**, а потім вказати деталь, що необхідно вилучити із розкрійної схеми, підвівши курсор миші на цю деталь **2** та натиснути кнопку миші(рис. Д.9). Після цього ця деталь буде вилучена із схеми розкрою та відповідно перерахований процент використання матеріалу(рис. Д.10).

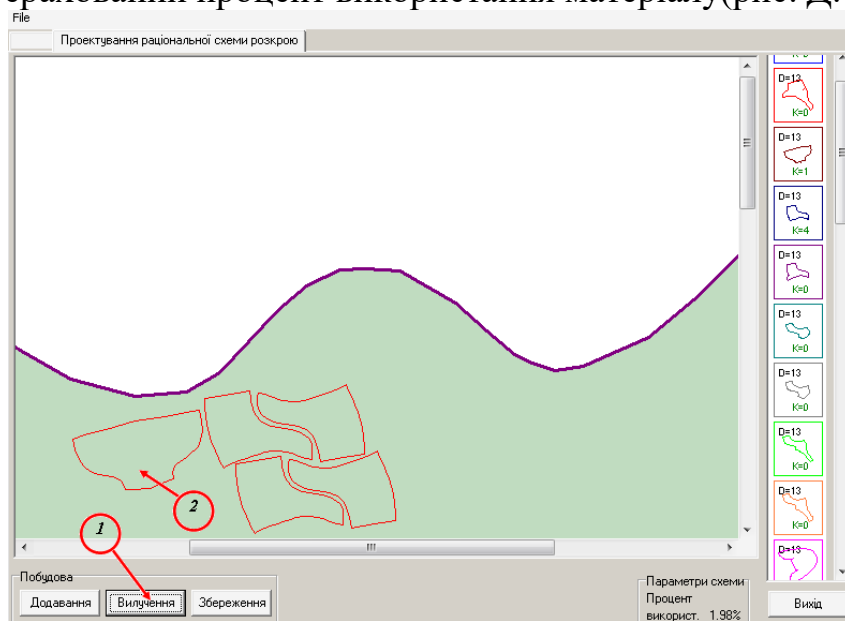


Рис. Д.9

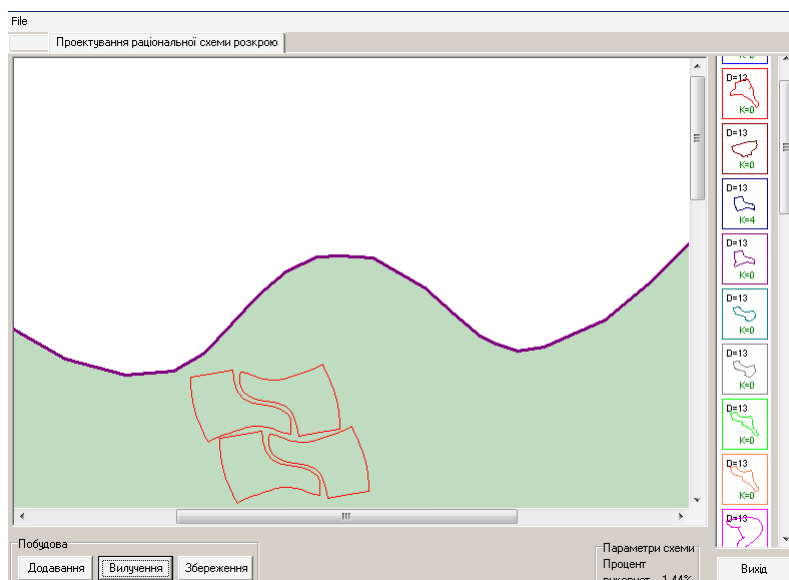


Рис. Д.10

Щоб зберегти вже побудовану схему розкрою у файлі *\*.sxt* необхідно підвести курсор миші до кнопки «Збереження», потім натиснути кнопку миші та вказати ім'я файлі *\*.sxt*, в якому буде зберігатись фрагмент вже побудованої схеми розкрою.

Для завершення роботи з програмою, користувач повинен закрити вікно шляхом натискання на хрестик у правому верхньому куті вікна або підвести курсор миші на кнопку «Вихід» та натиснути на кнопку миші..

Програма працює із файлами формату DGT, в яких зберігається інформація про зовнішні контури плоских геометричних об'єктів.



## Акт впровадження дисертаційної роботи у виробництво

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Співвласник П.П. «ПРАЙМ ШУЗ»  
Бондар О.І.  
2025 р.



### АКТ

Про впровадження результатів дисертаційної роботи «Удосконалення системи автоматизованого проектування схем розкрою рулонних матеріалів на деталі шкіргалантереї» Науменко Богдана Віталійовича

Ми, ті хто нижче підписалися, представник взуттєвого виробництва «ПРАЙМ ШУЗ» Бондар О.І., що займається виробництвом з одного боку і представники Київського національного університету технологій та дизайну з другого, склали цей акт впровадження результатів науково-дослідної роботи, виконаної аспірантом Науменко Б.В, оптимізації розкрою матеріалів.

Розроблені Науменко Б.В методи дозволили значно скоротити час на розробку комбінованих розкрійних схем, зменшити витрати матеріалу та підвищити якість деталей.

Завдяки тому, що програмне забезпечення дозволяє попередньо переглядати секції деталей, та інформацію про них, зокрема їх показники укладуваності, було актуалізовано норми використання матеріалу для старих моделей.

Апробоване програмне забезпечення дозволило збільшити відсоток використання матеріалу на 1.5-3%.

Програмне забезпечення є легким у освоєнні завдяки тому, що має зручний інтерфейс та відповідає технологічному процесу підготовки розкрійного виробництва. Досвід роботи з програмним забезпеченням дозволяє рекомендувати його для широкого застосування при розкрої матеріалів на виробництві.

**Представник від підприємства «ПРАЙМ ШУЗ»:**

Співвласник П.П. «ПРАЙМ ШУЗ»



О.І. Бондар

**Представник від КНУТД:**

Керівник розробки.

Д.т.н., проф. В.І. Чупринка

Аспірант кафедри технології моди

Б.В. Науменко

### Список наукових праць

**Публікація у періодичному науковому виданні, проіндексоване у базі даних Scopus:**

Viktor Chuprynka, Tetiana Demkivska, Nataliia Chuprynka, Ievgen Demkivskyi, Bogdan Naumenko Development of informational-technological support for designing cutting diagrams of haberdashery parts // Східно-Європейський журнал передових технологій, № 8, 2023.

### **Публікації у виданнях категорії Б:**

1. Наumenко Б.В. Підготовка інформації про зовнішні контури плоских геометричних об'єктів для ефективного автоматизованого проектування раціональних схем розкрою / Б.В Наumenко, В.І. Чупринка, Н.В. Чупринка, О.Л. Василенко //Технології та інжиніринг, № 4(9), 2022. С. 48-59

2.Наumenко Б.В. Автоматизоване проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів / Б.В Наumenко, В.І. Чупринка, Н.В. Чупринка //Вісник ХНУ. Технічні науки, № 4, 2024. С.143-152.

3.Наumenко Б.В. Генерування допустимої множини розкладок для автоматизованого проектування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів / Б.В Наumenко, В.І. Чупринка, В.В. Осипенко //Вісник ХНУ. Технічні науки, № 5, 2024. С. 101-108 (3 друк, арк.).

4.Наumenко Б.В. Інтерактивне коригування спроєктованих в автоматичному режим іраціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми на деталі галантерейних виробів / Б.В Наumenко, В.І. Чупринка //Вісник ХНУ. Технічні науки, № 1, 2025. С. 121-132

5. Чупринка В.І. Інтерактивна побудова та коригування раціональних схем розкрою натуральних матеріалів зі складною конфігурацією зовнішніх контурів на деталі галантерейних виробів/ Чупринка В.І, Б.В Наumenко //Вісник ХНУ. Технічні

### **Апробація результатів дослідження.**

1. Chuprynka V. I. Algorithm for finding rotation angles  $\alpha$  and  $\beta$ , respectively, for stationary and moving flat geometric objects when constructing dens stacks of these objects / V. I Chuprynka., N. V Chuprynka., B. V. Naumenko, O. L. Vasylenko // Innovations and prospects in modern science. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2023. Pp. 40-46.
2. Chuprynka V. I. Optimizing the movement of the cutting tool in automatic cutting with water jet or laser beam / V. I Chuprynka., N. V Chuprynka., B. V. Naumenko, Vasylenko O. L. // European scientific congress. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Madrid, Spain. 2023. Pp. 58-64.
3. Chuprynka V. I. Construction of lattice packing of two flat geometric object with different configuration of the external contour / V. I Chuprynka., N. V Chuprynka., B. V. Naumenko, Vasylenko O. L. // Progressive research in the modern world. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Boston, USA. 2023. Pp. 21-27.
4. Chuprynka V. I, Chuprynka N. V, Naumenko B.V Method for generation of rational schemes for cutting roll materials on details of leather goods. Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві. Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри комп'ютерних наук Київ. 2023. Pp 176-178.

**Документи, які підтверджують новизну дослідження:**

1. Інтерактивне проектування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів: Комп'ютерна програма / В.І. Чупринка; Н.В. Чупринка; Б.В. Науменко; свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №133098 від 04.02.25. – Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій.
2. Інтерактивне проектування раціональних схем розкрою шкір: Комп'ютерна програма / В.І. Чупринка; Н.В. Чупринка; Б.В. Науменко; свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №133232 від 06.02.25. – Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій.
3. Генерація та оптимізація розкрою деталей: Комп'ютерна програма / Б.В. Науменко; свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №133078 від 04.02.25. – Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій.