

УДК 685.34.01

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

Київський національний університет технологій та дизайну

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОВ ІНТЕРАКТИВНОГО  
ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОРИГУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ  
СХЕМ ЩІЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ПЛОСКИХ  
ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

***Мета.** Удосконалити метод інтерактивного проектування та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області.*

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

***Результати.** При аналізі методів інтерактивного проектування та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області було виявлено деякі недоліки цих методів. В роботі був запропонований удосконалений метод інтерактивного проектування та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області.*

***Наукова новизна.** Запропоновано метод інтерактивного проектування та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області, який більш ефективний за існуючі.*

***Практична значимість.** Результати теоретичних досліджень були реалізовані в програмний модуль для інтерактивного проектування та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області.*

***Ключові слова:** щільне розміщення, структурні компоненти, функція цілі, оптимізація, схема розкрою, метод променя, метод відрізків, програмне забезпечення.*

**Вступ.** Автоматизоване проектування раціональних розкрійних схем матеріалів дозволить ефективно використовувати матеріали при розкрої, зменшити кількість відходів, що забруднюють навколишнє середовище, знизити собівартість виробів. Тому завдання інтерактивної побудови та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів з різною конфігурацією зовнішніх контурів для прямокутної області  $\Omega$  заданих розмірів є актуальним завданням.

При розкрої матеріалів прямокутної форми заданих розмірів на плоскі геометричні об'єкти часто доводиться застосовувати несистемне розміщення деталей. Тому побудувати ефективні решітчасті (системні) схеми розкрою[1] в автоматичному режимі не завжди вдається. Крім того бажано мати можливість коригувати побудовані розкрійні схеми в інтерактивному режимі.

**Постановка завдання.** Провести аналіз існуючих методів інтерактивного проектування та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області та розробити удосконалений метод інтерактивного проектування та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області.

**Результати досліджень.** При інтерактивній побудові раціональних схем розміщення нам потрібно контролювати взаємне положення активного плоского геометричного об'єкта з уже розміщеними об'єктами. Алгоритм контролю взаємного положення плоских геометричних об'єктів повинен забезпечувати: не перетин плоского геометричного об'єкта, що розміщується, з уже розміщеними плоскими геометричними об'єктами. У роботах [2-3]

розглядається алгоритм інтерактивної побудови схем розміщення з використанням методу трасування променю та методу кутів[5]. Ці алгоритми мають істотний недолік при визначенні взаємного розміщення плоских геометричних об'єктів. Вони основані на наступному твердженні: два багатокутника не перетинаються, якщо жодна вершина першого багатокутника не знаходиться всередині другого багатокутника і жодна вершина другого багатокутника не знаходиться всередині першого багатокутника. Це твердження справедливо в більшості випадків, але можуть бути винятки (рис.1).

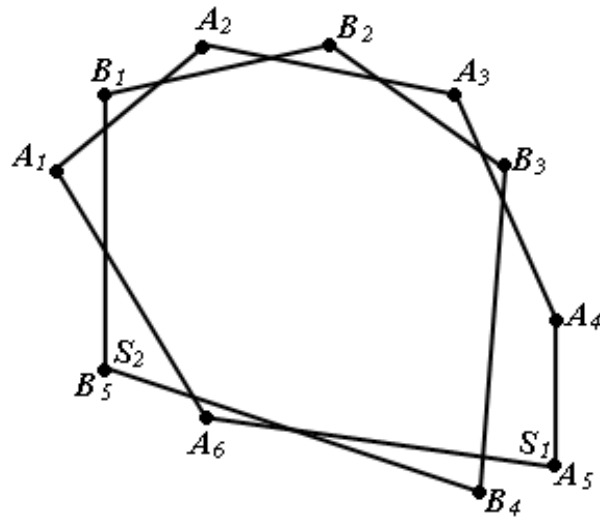


Рис.1. Положення вершин зовнішніх контурів плоских геометричних об'єктів не завжди визначає їх взаємне розташування

В роботі [4] запропоновано для визначення взаємного не перетину двох плоских геометричних об'єктів використовувати метод відрізків. Він базується на наступному припущенні: якщо жодна сторона зовнішньої границі одного багатокутника не має точок перетину зі сторонами другого багатокутника, то ці багатокутники не перетинаються. Але є випадки, коли метод відрізків не працює. Деякі з них представлені на рис. 2, хоча метод трасування променю в цих випадках добре працює. У випадках, коли не працює метод трасування променю (рис. 1) добре працює метод відрізків.

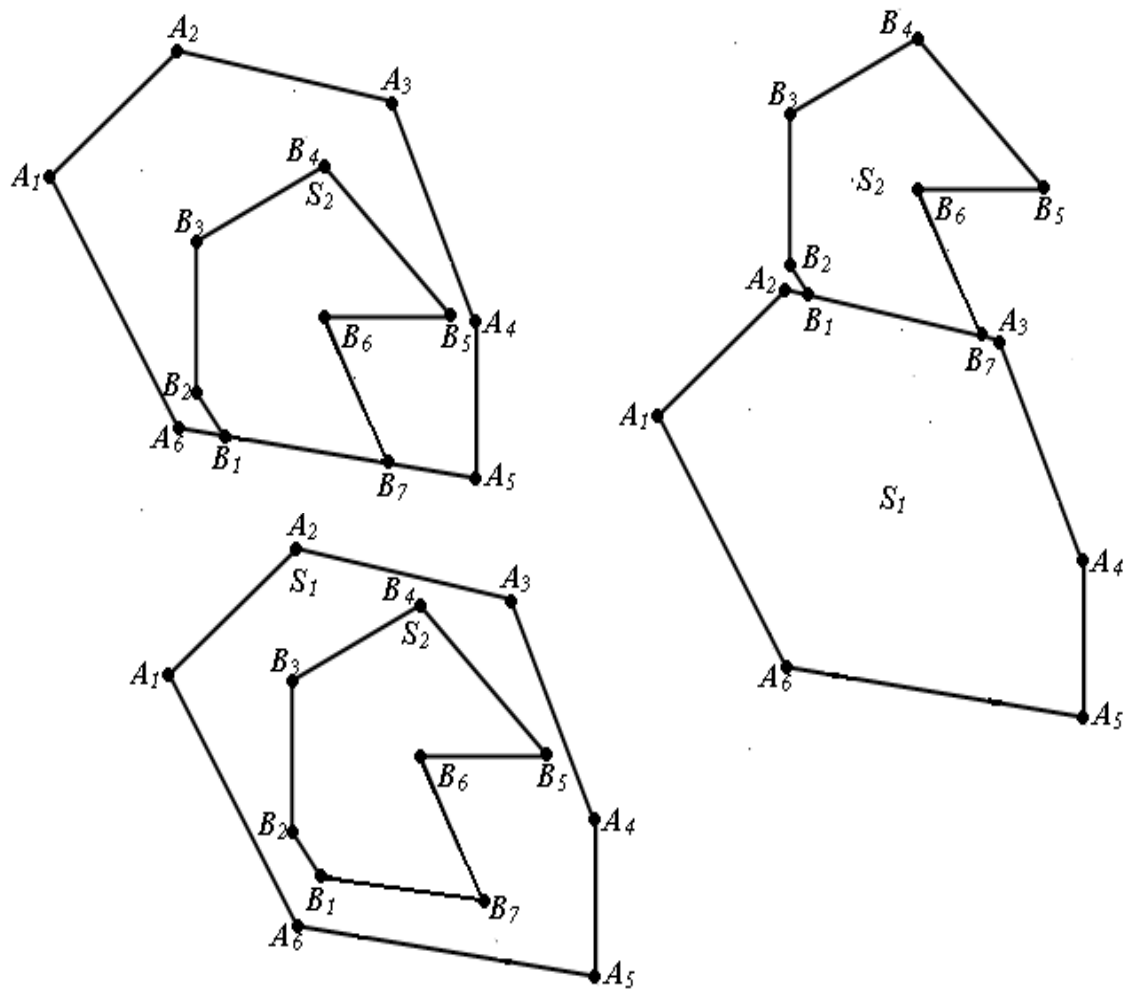


Рис. 2. Деякі випадки, коли метод відрізків не працює

Для виходу з ситуації, що склалася, пропонується наступний триступеневий алгоритм визначення взаємного розташування двох плоских геометричних об'єктів. На першому етапі розглядається взаємне розташування прямокутників зі сторонами паралельними осям системи координат, з прямокутною областю (рис.3) і описаних навколо цих плоских геометричних об'єктів. З малюнка очевидно:

- що плоскі геометричні об'єкти не перетинаються, якщо прямокутники, описані навколо їх, не перетинаються (рис.3.а);
- для перетину плоских геометричних об'єктів необхідно, щоб прямокутники, описані навколо цих об'єктів, перетиналися (рис. 3.б). Але це не є достатньою умовою (рис.3.в).

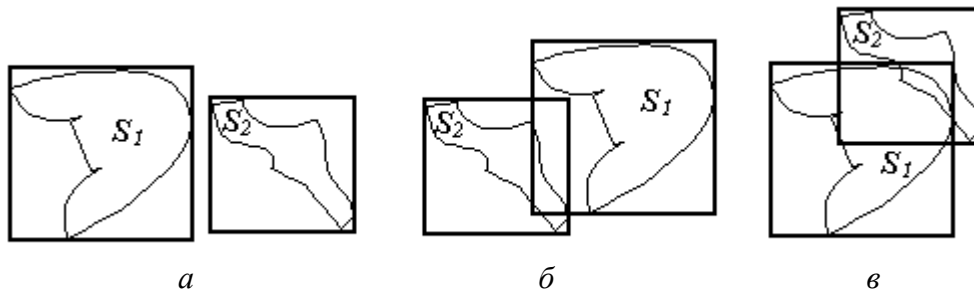


Рис.3. Взаємне розташування плоских геометричних об'єктів  $S_1, S_2$  і прямокутників, описаних в них

Визначимо умови перетину прямокутників, описаних навколо двох плоских геометричних об'єктів  $S_i$  і  $S_a$ , взаємне розташування котрих нам потрібно визначити (рис. 4).

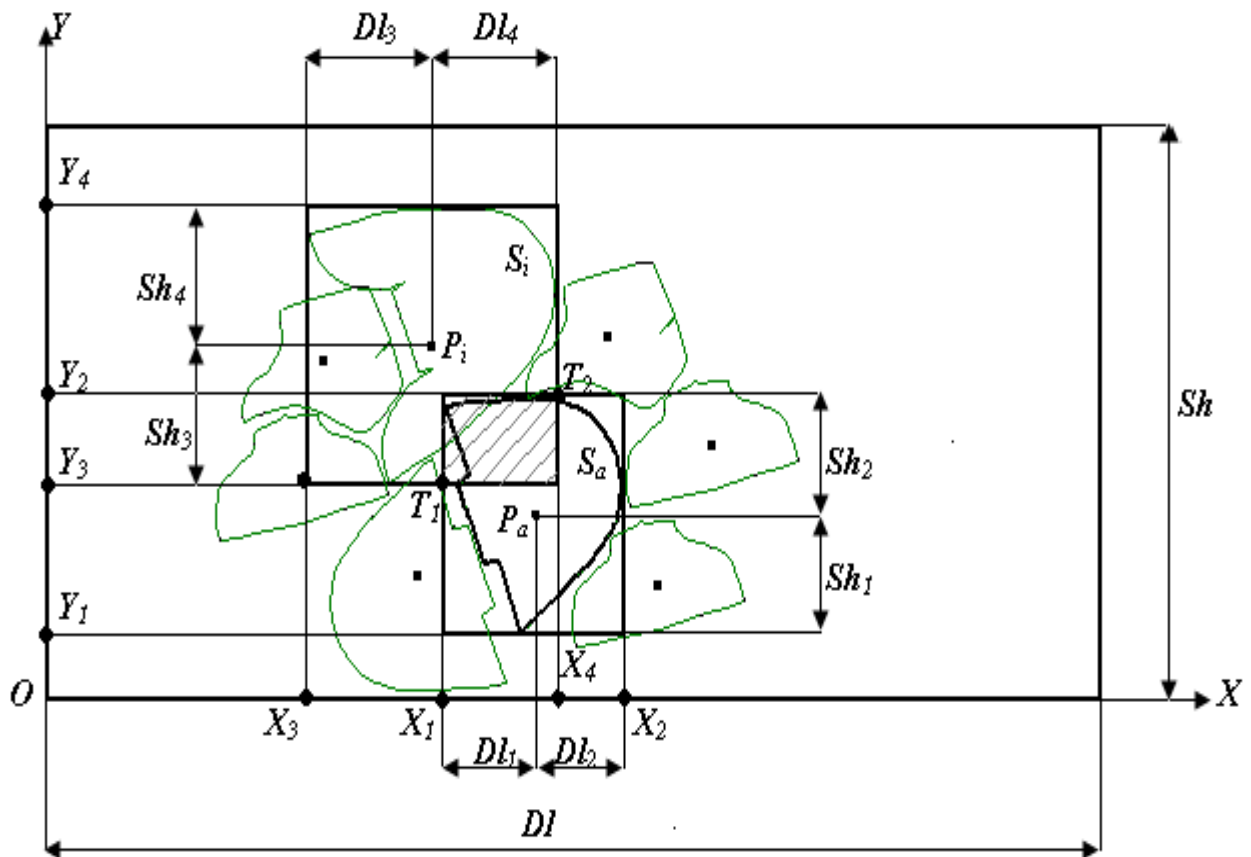


Рис. 4. Визначення взаємного розташування прямокутників, описаних навколо плоских геометричних об'єктів  $S_i$  і  $S_a$

Як видно з рис. 4 прямокутники, описані навколо плоских геометричних об'єктів  $S_i$  і  $S_a$  перетинаються, утворюючи спільний заштрихований прямокутник з нижнім лівим кутом в вершині  $T_1(X_1, Y_3)$  і верхнім правим кутом в вершині  $T_2(X_4, Y_2)$ . Очевидно, цей прямокутник існує тоді і тільки тоді, коли виконуються наступні умови:

$$\begin{cases} X_1 < X_4 \\ Y_3 < Y_2 \end{cases} \text{ або } \begin{cases} X_{p_a} - Dl_1 < X_{p_i} + Dl_4 \\ Y_{p_i} - Sh_3 < Y_{p_a} + Sh_2 \end{cases}, \text{ де } Pa(X_{p_a}, Y_{p_a}) \text{ и } Pi.(X_{p_i}, Y_{p_i}). \quad (1)$$

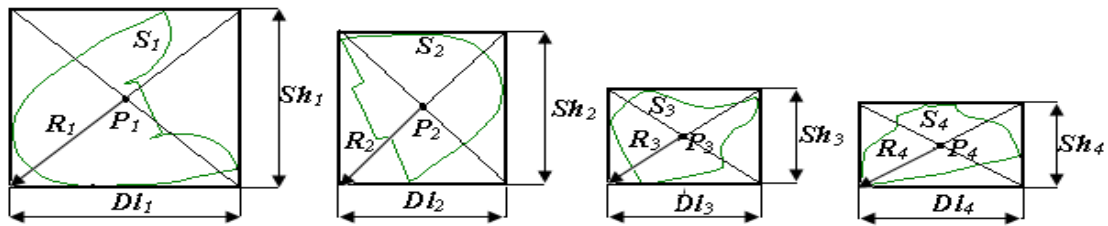


Рис. 5. Визначення радіуса описаного кола навколо плоского геометричного об'єкта

Нехай плоскі геометричні об'єкти  $S_i$  і  $S_a$  представляються координатами вершин апроксимуючих багатокутників відповідно наступним чином  $S_i(X_{ij}, Y_{ij})$ ,  $j=1, 2..N_i$  і  $S_a(Xa_k, Ya_k)$ ,  $k=1, 2..Na$ . Тоді

$$\begin{aligned} X_1 &= \min\{Xa_k\} + Xp_a & Y_1 &= \min\{Ya_k\} + Yp_a \\ X_2 &= \max\{Xa_k\} + Xp_a & Y_2 &= \max\{Ya_k\} + Yp_a \\ X_3 &= \min\{X_{ij}\} + Xp_i & Y_3 &= \min\{Y_{ij}\} + Yp_i \\ X_4 &= \max\{X_{ij}\} + Xp_i & Y_4 &= \max\{Y_{ij}\} + Yp_i \end{aligned}, \text{ де } k=1, 2..Na \text{ і } j=1, 2..N_i$$

Так як  $X_1 = \max\{\min\{Xa_k\} + Xp_a, \min\{X_{ij}\} + Xp_i\}$   
 $X_4 = \min\{\max\{Xa_k\} + Xp_a, \max\{X_{ij}\} + Xp_i\}$   
 $Y_3 = \max\{\min\{Ya_k\} + Yp_a, \min\{Y_{ij}\} + Yp_i\}$   
 $Y_2 = \min\{\max\{Ya_k\} + Yp_a, \max\{Y_{ij}\} + Yp_i\}$ , то умова (1) перетину двох описаних

прямокутників навколо плоских геометричних об'єктів можна представити таким чином:

$$\begin{aligned} \max\{\min\{Xa_k\} + Xp_a, \min\{X_{ij}\} + Xp_i\} &< \min\{\max\{Xa_k\} + Xp_a, \max\{X_{ij}\} + Xp_i\} \\ \max\{\min\{Ya_k\} + Yp_a, \min\{Y_{ij}\} + Yp_i\} &< \min\{\max\{Ya_k\} + Yp_a, \max\{Y_{ij}\} + Yp_i\} \end{aligned} \quad (2)$$

У разі, якщо умова (2) виконана, то можливо що плоскі геометричні об'єкти  $S_i$  і  $S_a$  перетинаються. Для перевірки перетину ми використовуємо метод трасування променя. Якщо метод трасування променя не підтвердив перетин плоских геометричних об'єктів  $S_i$  і  $S_a$ , то для уникнення випадку, представленого на рис.1, перевіримо перетин цих об'єктів за допомогою методу відрізків.

Для того, щоб не перевіряти, чи перетинається активний плоский геометричний об'єкт  $S_a$  з усіма вже розміщеними в прямокутній області  $\Omega$  плоскими геометричними об'єктами  $S_i$ , виділимо область навколо полюса активного плоского геометричного об'єкта  $S_a$  у вигляді кола радіуса  $R$ , в яку потрапляють полюси всіх підозрілих на перетин плоских геометричних об'єктів  $S_i$  з активним плоским геометричним об'єктом  $S_a$  (рис. 5). Плоскі геометричні об'єкти, полюси яких потрапили в коло радіуса  $R$  і з центром в полюсі активного плоского геометричного об'єкта  $S_a$ , будуть підозрілими на перетин з активним плоским геометричним об'єктом  $S_a$ . Для визначення величини радіуса визначимо радіус описаного кола навколо кожного з допустимих плоских геометричних об'єктів (рис. 6) та знайдемо найбільший із них.

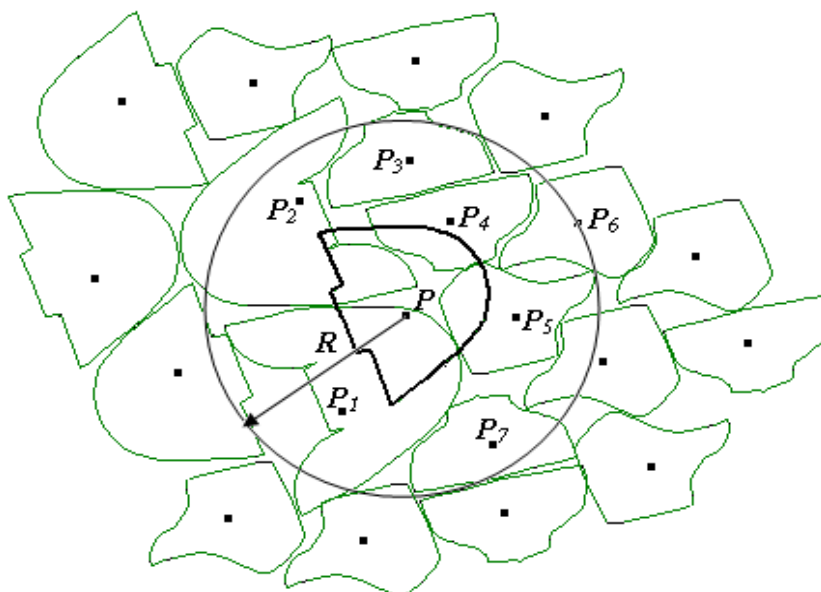


Рис. 6. Визначення зони, де можливі перетини вже розміщених плоских геометричних об'єктів з активним плоским геометричним об'єктом  $S_a$

Очевидно, що він дорівнює:

$$R_i = \frac{\sqrt{Dl_i^2 + Sh_i^2}}{2} = \frac{\sqrt{(\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\})^2 + (\max\{Y_{ij}\} - \min\{Y_{ij}\})^2}}{2},$$

де  $i=1,2..q$  и  $j=1,2..N_i$ . Тоді  $R = \max\{R_i\}$ .

Аналітичний опис умов взаємного не перетину плоских геометричних об'єктів з границею прямокутної області  $\Omega$ . Прямокутну область  $\Omega$  можна описати наступною системою нерівностей:

$$\Omega: \begin{cases} 0 \leq X \leq Dl \\ 0 \leq Y \leq Sh \end{cases}$$

Очевидно, що якщо полюс  $P_a$  активного плоского геометричного об'єкта  $S_m$  знаходиться всередині заштрихованого прямокутника (рис. 7), то цей об'єкт не буде виходити за межі прямокутної області. Нехай координати полюса  $P_a$  визначаються як  $P_a(Xp, Yp)$ . Тоді умови взаємного не перетину активного плоского геометричного об'єкта  $S_m$  з границею прямокутної області можна представити в такий спосіб (рис.7):

$$\begin{cases} Dl_1^m \leq Xp_a \leq Dl - Dl_2^m \\ Sh_1^m \leq Yp_a \leq Sh - Sh_2^m \end{cases}, \quad \text{або} \quad \begin{cases} \left| \min\{X_{mj}\} \right| \leq Xp_a \leq Dl - \left| \max\{X_{mj}\} \right| \\ \left| \min\{Y_{mj}\} \right| \leq Yp_a \leq Sh - \left| \max\{Y_{mj}\} \right| \end{cases}$$

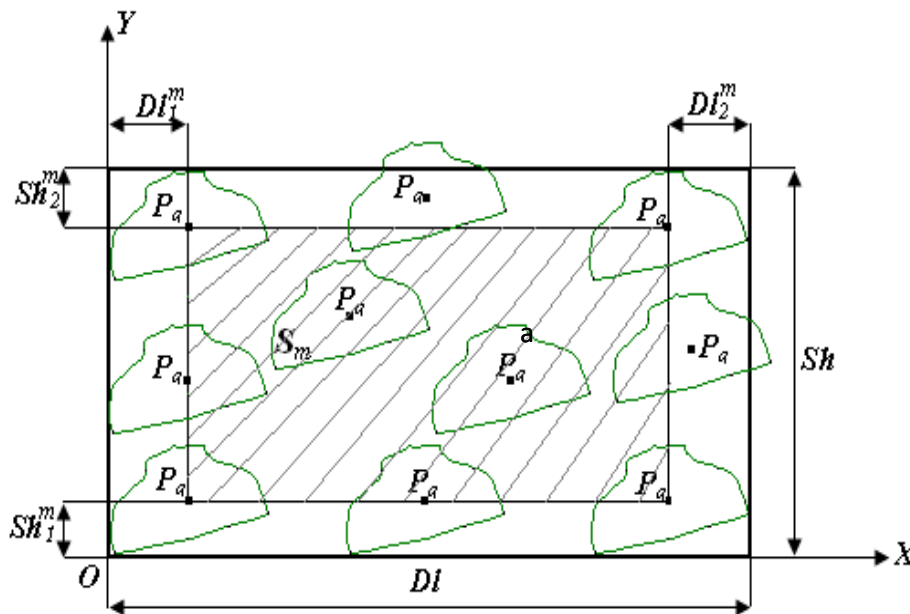


Рис. 7. Визначення розташування плоского геометричного об'єкта щодо прямокутної області  $\Omega$

Запропонований метод інтерактивного проектування і коригування схем щільних суміщень плоских геометричних об'єктів був реалізований в програмний продукт. Програмний продукт, реалізований в середовищі програмування C++ Bullder для операційної системи Windows. Приклад спроектованої в автоматичному режимі схеми щільних суміщень плоских геометричних об'єктів у прямокутній області . після її інтерактивного коригування представлено на рис. 8.

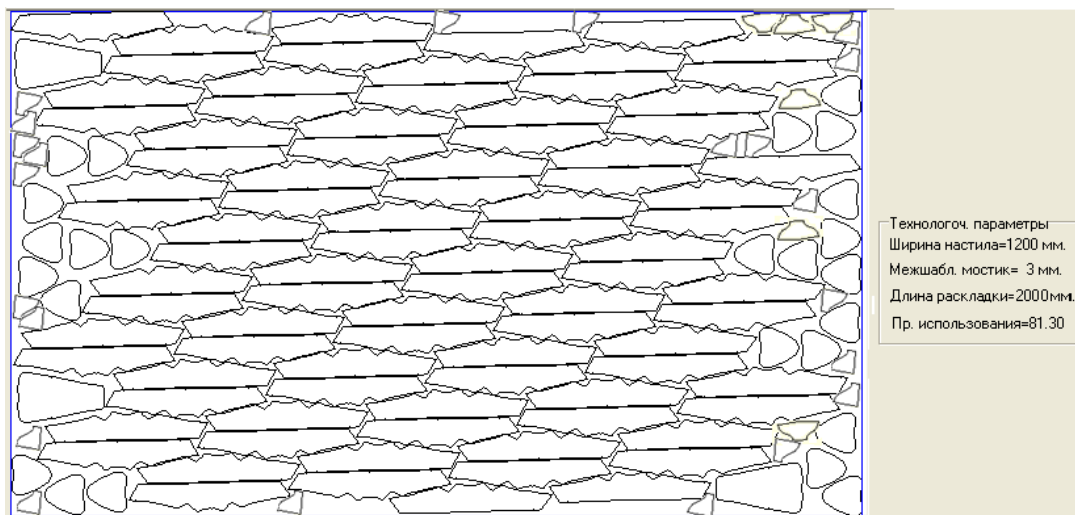


Рис. 8. Спроектована в автоматичному режимі схема щільного суміщення плоских геометричних об'єктів після її інтерактивного коригування

Врахування міжшаблонного містка  $\Delta$  між плоского геометричного об'єктами при інтерактивному проектуванні схеми їх щільних суміщень у прямокутній області відбувається за рахунок того, що замість плоских геометричних об'єктів ми розглядаємо образи цих

об'єктів. Образ плоского геометричного об'єкту представляє собою зовнішню еквідистанту до плоского геометричного об'єкту на відстані  $\Delta/2$  [6].

Аналіз отриманих результатів розрахунків параметрів щільних суміщень плоских геометричних об'єктів в прямокутній області  $\Omega$  довів ефективність інтерактивного коригування схем щільного суміщення, спроектованих в автоматичному режимі.

**Висновки.** В результаті аналізу недоліків алгоритмів інтерактивного проектування і коригування схем щільних суміщень плоских геометричних об'єктів був запропонований удосконалений метод інтерактивного проектування і коригування схем щільних суміщень плоских геометричних об'єктів. Це дозволило розробити програмне забезпечення для метод інтерактивного проектування і коригування схем щільних суміщень плоских геометричних об'єктів.

### Література

1. Chuprynka V.I. Method of construction of lattice pilings of two plane geometric object with different configurations of outer contours/ V.I. Chuprynka, G.Y. Zelinsky, N.V. Chuprynka // The scientific heritage – 2017, – №8, Vol. 1, P. 100-109
2. Чупринка В.І. Інтерактивна побудова схем розкрою / В.І. Чупринка, О.Т. Волошин, О.В. Комарницька // Вісник ДАЛПУ. – №1. – 2000. – С. 86-89.
3. Чупринка В.І. Інтерактивне коригування розкрійних схем, що побудовані в автоматичному режимі / В.І. Чупринка, О.З. Колиско // Вісник Хмельницького національного університету – 2006. – №1, Ч1. – С. 76-79.
4. Чупринка В.І. Алгоритм інтерактивної побудови та коригування схем розкрою / В.І. Чупринка, О.В. Чебанюк // Вісник КНУТД. – 2007. – №1. – С. 31-35.
5. Майк Ласло. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++ / Ласло Майк. – М.: Бином. –1997. – 302 с.
6. Чупринка В.І. Удосконалення методу побудови еквідистанти для плоского геометричного об'єкту довільної форми /В.І. Чупринка, Г.Ю. Зелінський, Н. В. Чупринка // Вісник КНУТД «Технічні науки», – 2016. №4. – С. 34-41.

### References

1. Chuprynka V.I., Zelinsky G.Y., Chuprynka N.V. (2017) Method of construction of lattice pilings of two plane geometric object with different configurations of outer contours. The scientific heritage no.8, Vol. 1, P. 100-109
2. Chuprynka V.I., Voloshyn T., Komarnytska O.V. (2000) *Interaktyvna pobudova skhem rozkroiu* [Interactive construction cutting plans] Visnyk DALPU. No.1. p. 86-89.
3. Chuprynka V.I., Kolysko O.Z. (2006) *Interaktyvne koryhuvannya rozkriinykh skhem, shcho pobudovani v avtomatychnomu rezhymi* [Interactive correction of cutting schemes built in automatic mode] Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu no.1, P. 76-79.
4. Chuprynka V.I., Chebaniuk O.V. (2007) *Alhorytm interaktyvnoi pobudovy ta koryhuvannya skhem rozkroiu* [The algorithm of interactive construction and adjustment of schemes of cutting] Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design «Technical Science Series» no.1. P. 31-35.
5. Laslo M. (1997) *Vychislitel'naya geometriya i komp'yuternaya grafika na* [Computational geometry and computer graphics on C++ ] M.: Binom. 302 p.
6. Chuprinka V.I., Zelinskiy G.Yu., Zelinskiy N. V. (2016) *Udoskonalennya metodu pobudovi ekvidistanti dlya ploskogo geometrichnogo ob'iektu dovilnoi formi* [Improvement of the method of construction of the equidistant constant for a flat geometric object of arbitrary shape] Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design «Technical Science Series» no.4. P. 34-41.



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОРРЕКТИРОВКИ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ПЛОТНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

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

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Усовершенствовать методы интерактивного проектирования и корректировки рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области.

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

**Результаты.** При анализе методов интерактивного проектирования и корректировки рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области были выявлены некоторые недостатки этих методов. В работе был предложен усовершенствованный метод интерактивного проектирования и корректировки рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области.

**Научная новизна.** Предложен метод интерактивного проектирования и корректировки рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области, который более эффективен, чем существующие.

**Практическая значимость.** Результаты теоретических исследований были реализованы в программный модуль для интерактивного проектирования и корректировки рациональных схем плотного размещения плоских геометрических объектов в прямоугольной области.

**Ключевые слова:** плотное размещение, структурные компоненты, функция цели, оптимизация, схема раскроя, метод лучу, метод отрезков, программное обеспечение.

## IMPROVEMENT OF METHODS FOR THE INTERACTIVE DESIGN AND CORRECTION OF RATIONAL SCHEMES FOR THE DENSE PLACEMENT OF FLAT GEOMETRIC OBJECTS

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

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** To improve methods of interactive design and correction of rational schemes for the dense placement of flat geometric objects in a rectangular area.

**Methodology.** Applied methods of analytical geometry and mathematics for designing and correcting rational schemes for the dense placement of flat geometric objects in a rectangular area.

**Findings.** In the process of analyzing methods for interactive design and correction rational schemes for the dense placement of flat geometric objects in a rectangular area were revealed some disadvantages of these methods. This work proposed an improved method for interactive design and correction of rational schemes for the dense placement of flat geometric objects in a rectangular area.

**Originality.** Proposed a method for interactive design and correction of rational schemes for the dense placement of flat geometric objects in a rectangular area, which is more efficient than existing ones.

**Practical significance.** The results of theoretical research were implemented in a software module for interactive design and correction of rational schemes for the dense placement of flat geometric objects in a rectangular area.

**Key words:** dense placement, structural components, objective function, optimization, cutting scheme, beam method, segment method, software.