

---

---

УДК 685.34.01

**УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ІНТЕРАКТИВНОГО  
ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОРИГУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ  
РОЗКРОЮ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ МЕТОД ІНТЕРАКТИВНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОРРЕКТИРОВКИ РАЦИОНАЛЬНОЙ  
СХЕМЫ РАСКРОЯ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**IMPROVED METHOD OF INTERACTIVE DESIGN  
AND ADJUSTMENTS OF THE RATIONAL SCHEME  
OF PATTERNING FLAT GEOMETRIC OBJECTS**

**В.І. ЧУПРИНКА**, доктор техн.наук,  
**Г.Ю.ЗЕЛІНСЬКИЙ, Н.В. ЧУПРИНКА**

*Київський національний університет технологій та дизайну, Україна*

*В роботі розглядається удосконалений метод інтерактивного проектування і коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми заданих розмірів на плоскі геометричні об'єкти з різною конфігурацією зовнішнього контуру.*

*Цей метод проектування раціональних схем розкрою був реалізований в програмний продукт для інтерактивного проектування і коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми заданих розмірів на плоскі геометричні об'єкти з різною конфігурацією зовнішнього контуру.*

**Ключові слова:** *цільне розміщення, схема розкрою, метод променя, метод відрізків, програмне забезпечення.*

*В работе рассматривается усовершенствованный метод интерактивного проектирования и корректирования рациональных схем раскроя материалов прямоугольной формы заданных размеров на плоские геометрические объекты различной конфигурации внешнего контура.*

*Этот метод проектирования рациональных схем раскроя был реализован в программный продукт для интерактивного проектирования и корректирования рациональных схем раскроя материалов прямоугольной формы заданных размеров на плоские геометрические объекты различной конфигурации внешнего контура.*

**Ключевые слова:** *плотное размещение, схема раскроя, метод луча, метод отрезков, программное обеспечение.*

*An analysis of the existing methods of interactive design and correction of rational schemes for cutting flat geometric objects has been carried out.*

---

© Чупринка В.І., Зелінський Г.Ю., Чупринка Н.В., 2017

*This allowed to highlight the disadvantages of these methods and develop an improved method of interactive design and correction of rational schemes for the decomposition of flat geometric objects with different configurations of the external contour in a rectangular area of the given size. In this method, it is possible to distinguish three main stages: the preliminary check of the intersection of rectangles, which are described around an active flat geometric object and a flat geometric object that has already been placed; If these rectangles intersect, check the intersection of these flat geometric objects by the ray tracing method; If these flat geometric objects do not intersect by the ray tracing method, then an additional check of their intersection by the ray method.*

*The proposed method for designing dense layout schemes was implemented in a software product for interactive design and correction of rational schemes for the decomposition of dense combinations of flat geometric objects with different configurations of external contours in a rectangular area of a given size.*

**Keywords:** *dense placement, cutting scheme, beam method, segment method, software.*

**Вступ.** Раціональні витрати матеріальних і енергетичних ресурсів, а також захист навколишнього середовища від забруднення повинні бути пріоритетними напрямками в розвитку економіки будь-якої країни.

Так при розкрої матеріалів необхідно зменшувати кількість відходів.

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.

Побудувати ефективні решітчасті (системні) схеми розкрою [1] в автоматичному режимі не завжди вдається.

Тому при розкрої матеріалів прямокутної форми заданих розмірів на плоскі геометричні об'єкти часто доводиться застосовувати несистемне розміщення деталей. Крім того бажано мати можливість коригувати побудовані розкрійні схеми в інтерактивному режимі.

**Постановка завдання.** Розробити математичне і програмне забезпечення для інтерактивної побудови і коригування раціональних схем щільного розміщення в прямокутній області  $\Omega$  заданих розмірів для плоских геометричних об'єктів  $S_i$  ( $i=1..k$ ) з різною конфігурацією зовнішніх контурів.

При інтерактивній побудові та коригуванні раціональних схем розміщення необхідним є виконання наступних технологічних вимог:

- плоскі геометричні об'єкти  $S_i$  ( $i=1..k$ ) не повинні перетинати границю прямокутної області  $\Omega$ , в якій вони розміщуються;
- плоскі геометричні об'єкти  $S_i$  ( $i=1..k$ ) не повинні перетинатися один з іншим і між ними в схемі розміщення повинні бути технологічні зазори постійної величини  $\Delta$ ;
- при розміщенні необхідно дотримати орієнтацію плоских геометричних об'єктів  $S_i$  ( $i=1..k$ ) щодо їх початкового положення (кут повороту  $\alpha_i$  і  $\pi + \alpha_i$ ).

Для цього необхідно 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, що не має недоліків існуючих методів.

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Плоскі геометричні об'єкти в більшості випадків мають складну конфігурацію зовнішніх контурів і їх не можливо описати аналітично. Для їх представлення застосуємо кусково-лінійну апроксимацію.

При цій апроксимації плоскі геометричні об'єкти із заданою точністю апроксимації  $\varepsilon$  ми будемо представляти багатокутниками. Виберемо всередині плоского геометричного об'єкта  $S$  точку  $O$  (полюс), в яку помістимо початок прямокутної системи координат.

Тоді зовнішній контур цього об'єкту може бути представлений координатами вершин апроксимуючого багатокутника  $S\{X_i, Y_i\}$ ,  $i=1..n$ . Так як плоскі геометричні об'єкти ми будемо апроксимувати багатокутниками, то далі ми будемо розглядати плоскі геометричні об'єкти як багатокутники.

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 променя та методу кутів. Ці алгоритми мають істотний недолік при визначенні взаємного розміщення плоских геометричних об'єктів.

Вони основані на наступному твердженні [5]: 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 є винятки (рис.1 а).

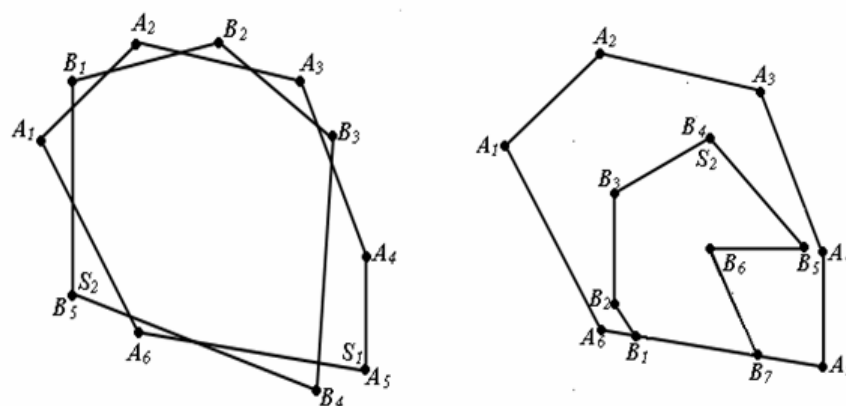


Рис. 1. Деякі випадки, коли методи трасування променю та відрізків:  
а) метод трасування променю не працює;  
б) метод відрізків не працює

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.

Один з них представлений на рис. 1.б. Але метод трасування променю добре працює у випадках, коли не працює метод відрізків. У випадках, коли не працює метод трасування променю (рис. 1 а) добре працює метод відрізків.

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, що описані навколо цих плоских геометричних об'єктів і сторони яких паралельні осям системи координат. Очевидно:

- плоскі геометричні об'єкти не перетинаються, якщо прямокутники, описані навколо них, не перетинаються;
- для перетину плоских геометричних об'єктів необхідно, щоб прямокутники, описані навколо цих об'єктів, перетиналися. Але це не є достатньою умовою.

Визначимо умови перетину прямокутників, описаних навколо двох плоских геометричних об'єктів  $S_i$  і  $S_a$ , взаємне розташування котрих нам потрібно визначити (рис. 2).

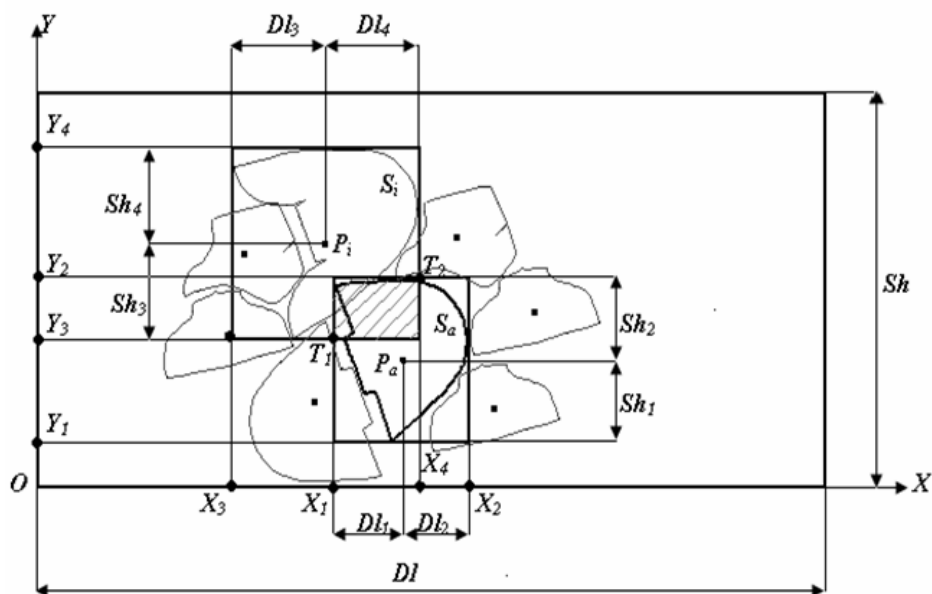


Рис. 2. Визначення взаємного розташування прямокутників, описаних навколо плоских геометричних об'єктів  $S_i$  і  $S_a$

Якщо прямокутники, описані навколо плоских геометричних об'єктів  $S_i$  і  $S_a$  перетинаються, то вони утворюють спільний заштрихований прямокутник з нижнім лівим кутом в вершині  $T_1(X_1, Y_3)$  і верхнім правим кутом в вершині  $T_2(X_4, Y_2)$  (рис. 2). Очевидно, цей прямокутник існує тоді і тільки тоді, коли виконуються наступні умови:

$$\begin{cases} X_1 < X_4 \\ Y_3 < Y_2 \end{cases} \text{ або } \begin{cases} Xp_a - Dl_1 < Xp_i + Dl_4 \\ Yp_i - Sh_3 < Yp_a + Sh_4 \end{cases},$$

де

$$Pa(Xp_a, Yp_a) \text{ и } P_i(Xp_i, Yp_i). \quad (1)$$

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

$$\begin{aligned} X_1 &= \min \{Xa_k\} + Xp_a & Y_1 &= \min \{Ya_k\} + Yp_a \\ X_2 &= \max \{Xa_k\} + Xp_a & Y_2 &= \max \{Ya_k\} + Yp_a \\ X_3 &= \min \{X_{ij}\} + Xp_i & Y_3 &= \min \{Y_{ij}\} + Yp_i \\ X_4 &= \max \{X_{ij}\} + Xp_i & Y_4 &= \max \{Y_{ij}\} + Yp_i \end{aligned}$$

де  $k=1,2..Na$  і  $j=1,2..Ni$

$$\begin{aligned} X_1 &= \max\{\min\{Xa_k\} + Xp_a, \min\{X_{ij}\} + Xp_i\} \\ \text{Так як } X_4 &= \min\{\max\{Xa_k\} + Xp_a, \max\{X_{ij}\} + Xp_i\}, \text{ то умову (1)} \\ Y_3 &= \max\{\min\{Ya_k\} + Yp_a, \min\{Y_{ij}\} + Yp_i\} \\ Y_2 &= \min\{\max\{Ya_k\} + Yp_a, \max\{Y_{ij}\} + Yp_i\} \end{aligned}$$

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 цих плоских геометричних об'єктів ми використовуємо метод трасування променю. Якщо метод трасування променю не підтвердив перетин плоских геометричних об'єктів  $S_i$  і  $S_a$ , то для уникнення випадку, представленого на рис.1.а, 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. 3).

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 та знайдемо найбільший із них.

Очевидно, що

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

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

Аналітичний опис умов взаємного не перетину плоских геометричних об'єктів з границею прямокутної області  $\Omega$ .

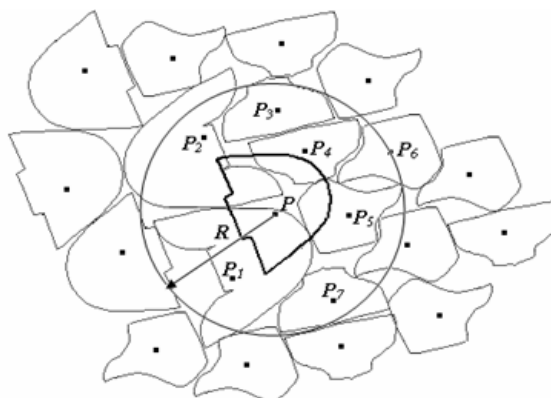


Рис. 3. Визначення зони, де можливі перетини вже розміщених плоских геометричних об'єктів з активним плоским геометричним об'єктом  $S_a$

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. 4), то цей об'єкт не буде виходити за межі прямокутної області.

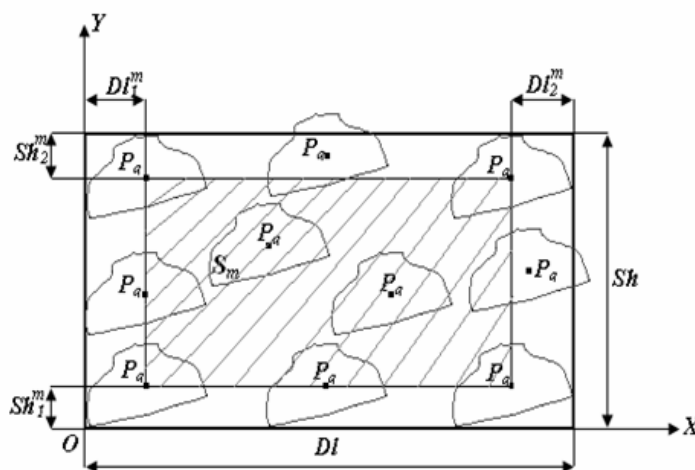


Рис. 4. Визначення розташування плоского геометричного об'єкта щодо прямокутної області  $\Omega$

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. 4):

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

Врахування між шаблонного містка  $\Delta$  між плоскими геометричними об'єктами при інтерактивному проектуванні раціональної схеми розкрою 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].

Запропонований удосконалений метод інтерактивного проектування і коригування схем щільних суміщень плоских геометричних об'єктів був реалізований в програмний продукт.

Приклад спроектованої в автоматичному режимі схеми щільних суміщень плоских геометричних об'єктів у прямокутній області, після її інтерактивного коригування представлено на рис. 5.

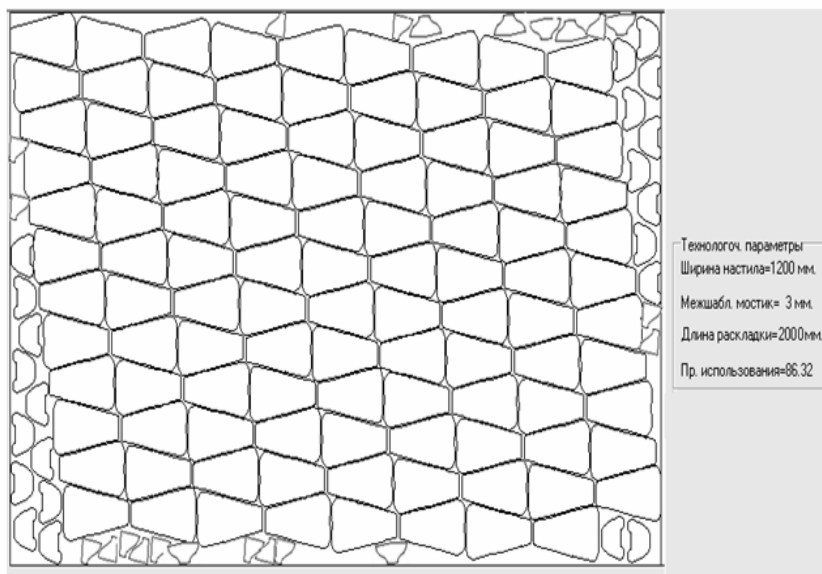


Рис. 5. Спроектована в автоматичному режимі схема щільного суміщення плоских геометричних об'єктів після її інтерактивного коригування



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 існуючих 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 інтерактивного проектування і коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для плоских геометричних об'єктів довільної форми зовнішнього контуру.

### 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. Коліско // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2006. – № 1. – Ч. 1. – 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*. – 2016. – № 4. – С. 34-41.

Стаття надійшла до редакції 19.09.2017