

АВТОМАТИЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМ РОЗКРОЮ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПЛОСКІ ГЕОМЕТРИЧНІ ОБ'ЄКТИ

УДК 685.34.01

ЧУПРИНКА Віктор Іванович

доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, кафедра інформаційних технологій,

Наукові інтереси: задачі, що пов'язані з проектуванням раціональних схем розкрою матеріалів на плоскі геометричні об'єкти зі складною конфігурацією зовнішнього контуру; автоматизоване проектування виробів легкої промисловості.

e-mail:Chuprinka_V_I@ukr.net

ЗЕЛІНСЬКИЙ Григорій Юрійович

Київський національний університет технологій та дизайну, кафедра інформаційних технологій, аспірант,

Наукові інтереси: задачі, що пов'язані з проектуванням раціональних схем розкрою матеріалів на плоскі геометричні об'єкти зі складною конфігурацією зовнішнього контуру

e-mail:gzelinskiy@gmail.com

ЧУПРИНКА Наталія Вікторівна

кандидат технічних наук, Київський національний університет технологій та дизайну, кафедра інформаційних технологій,

Наукові інтереси: задачі, що пов'язані з проектуванням раціональних схем розкрою матеріалів на плоскі геометричні об'єкти зі складною конфігурацією зовнішнього контуру; автоматизоване проектування шкіргалантерейних виробів

e-mail:natasha-chup@ukr.net

ВСТУП

Автоматичне проектування раціональних розкрійних схем матеріалів дозволить ефективно використовувати матеріали при розкрої, зменшити кількість відходів, що забруднюють навколишнє середовище, знизити собівартість виробів. Тому завдання автоматичного проектування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів з складною конфігурацією зовнішніх контурів на прямокутній області Ω заданих розмірів є актуальним завданням.

Мета роботи: розробити метод автоматичного проектування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів з складною конфігурацією зовнішніх контурів в прямокутній області заданих розмірів.

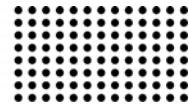
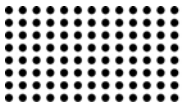
В більшості випадків процес підготовки раціональних схем розкрою листових матеріалів на деталі взуття виконуються вручну. Але розвиток обчислювальної техніки та методів обчислювальної математики дозво-

ляють виконувати ці етапи в автоматичному режимі. В роботах [1-3] представлені математичні моделі компактного розміщення опуклих плоских геометричних об'єктів. Але в більшості випадків деталі взуття є не опуклі плоскі геометричні об'єкти. В роботах [4-9] застосовуються генетичні алгоритми. Але ці алгоритми не завжди дають задовільний результат за обмежений час. Тому завданням цієї роботи є розробка методу автоматичного проектування раціональних схем розкрою листових матеріалів для плоских геометричних об'єктів з складною конфігурацією зовнішніх контурів.

Для розв'язання цієї задачі необхідно математична постановка задачі, в якій сформулювати технологічні вимоги та обмеження.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Дано прямокутні області Ω необмеженої кількості з габаритами розмірами D_{mat} та H_{mat} . Необхідно щільно



розмістити N_j плоских геометричних об'єктів S_j , де $j=1,2..q$, таким чином, щоб сумарна площа використаних прямокутних областей Ω була б мінімальною та задовольнялась потреба у викроєних плоских геометричних об'єктів S_j , де $j=1,2..q$. При цьому задовольнялись наступні обмеження:

– кількість різних плоских геометричних об'єктів у схемі розкрою для одної прямокутної області Ω не повинна перевищувати шести;

– плоскі геометричні об'єкти у схемі розкрою повинні не перетинатись та розміщатись на відстані один від одного не менше сталої величини Δ ;

– плоскі геометричні об'єкти у схемі розкрою повинні не виходити за межі прямокутної області Ω на величину Δ ;

– вимоги до орієнтації плоских геометричних об'єктів відносно матеріалу (плоских геометричних об'єктів на матеріалі розміщуються в основному положенні та повернуті відносно основного положення на 180 градусів; не має обмежень на орієнтацію деталей на матеріалі.);

– кількість плоских геометричних об'єктів кожного виду, що розміщені в прямокутних областях Ω , повинні задовольняти потреби в цих об'єктах.

РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ

В такій постановці задача автоматичного проектування не має розв'язків, так як ця задача має нескінченну кількість локальних екстремумів. Тому розглянемо більш просту модель задачі, яка забезпечить ефективний пошук раціональних схем розміщення плоских геометричних об'єктів із врахуванням комплектного виходу. Для цього розіб'ємо цю задачу на три задачі: генерування множини допустимих секцій; генерування множини допустимих схем розкрою із комбінації згенерованих секцій; вибір із множини допустимих схем розкрою тих, які забезпечать мінімальну

Нижче детально розглянуто теоретичні основи, на яких розроблено ММ поставленої задачі

Аналитичне описання матеріалу прямокутної форми. Матеріал прямокутної форми однозначно можна представити системою наступних нерівностей (рис. 1):

$$\Omega: \begin{cases} 0 \leq X \leq D_{l_{mat}} \\ 0 \leq Y \leq H_{mat} \end{cases}$$

Аналитичне представлення інформації про контур деталі S . Контурів деталей взуття мають складну конфігурацію і в більшості випадків їх не вдається описати аналітично, тому їх апроксимують більш простими кривими.

сумарну площу використаних прямокутних областей Ω для побудови схем розміщення плоских геометричних об'єктів S_j ($j=1,2..q$) та задовольняють потребу в цих об'єктах.

Секція Q_{jmv} для плоского геометричного об'єкту S_j – це прямокутна область довжиною $D_{l_{mat}}$ та висотою $H_{jm}(0 < H_{jm} \leq H_{mat})$, в якій системно розміщуються плоскі геометричні об'єкти S_j (рис. 1.).

Тепер можна дати математичні постановки цієї задачі. Для цього спочатку визначимо поняття подвійної решітки. Множину векторів виду [10-11]:

$$r_1 = na + mb \text{ та } r_2 = na + mb + q,$$

де $n, m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \pm t, \dots$,

де a, b – лінійно-незалежні вектори, назвемо подвійною решіткою з базисом a, b і вектором зсуву решітки q та позначимо через $W = W(a, b, q)$.

Задача «Секція». Для плоского геометричного об'єкту S_j , де $j=1,2..q$, знайти прямокутну подвійну решітку $W^{pj}: na^{pj} + mb^{pj} + kq^j$ (рис.1.а) з найщільнішою укладкою деталей S_j . На базі цієї решітки згенерувати всю допустиму множину секцій Q_{jmv} , $m=1,2..m_k$ із висотою $H_{jm} \leq H_{mat}$ та довжиною $D_{l_{max}}$, щільність яких $P_{jm} \geq P$, де P – наперед задана щільність.

В математичній моделі цієї задачі можна виділити наступні структурні компоненти.

- Аналітичне описання матеріалу прямокутної форми;
- Аналітичне описання геометрії плоских геометричних об'єктів S_j , де $j=1,2..q$, що розміщуються в прямокутній області Ω .
- Аналітичне представлення положення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області.
- Математичне описання системи розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області.
- Отримання аналітичного виразу для функції цілі.

Найбільше розповсюдження одержала *кусково - лінійна* апроксимація, тобто апроксимація кривими першого порядку (прямими). При цій апроксимації контур деталі представляється багатокутником. Кількість вершин апроксимуючого багатокутника повинна забезпечувати потрібну точність апроксимації. Тоді деталь S можна представити координатами точок вершин апроксимуючого багатокутника, тобто масивом $\{X_i, Y_i\}$, $i=1..n$, де X_i, Y_i - координати i -ї вершини та n -кількість вершин апроксимуючого багатокутника.

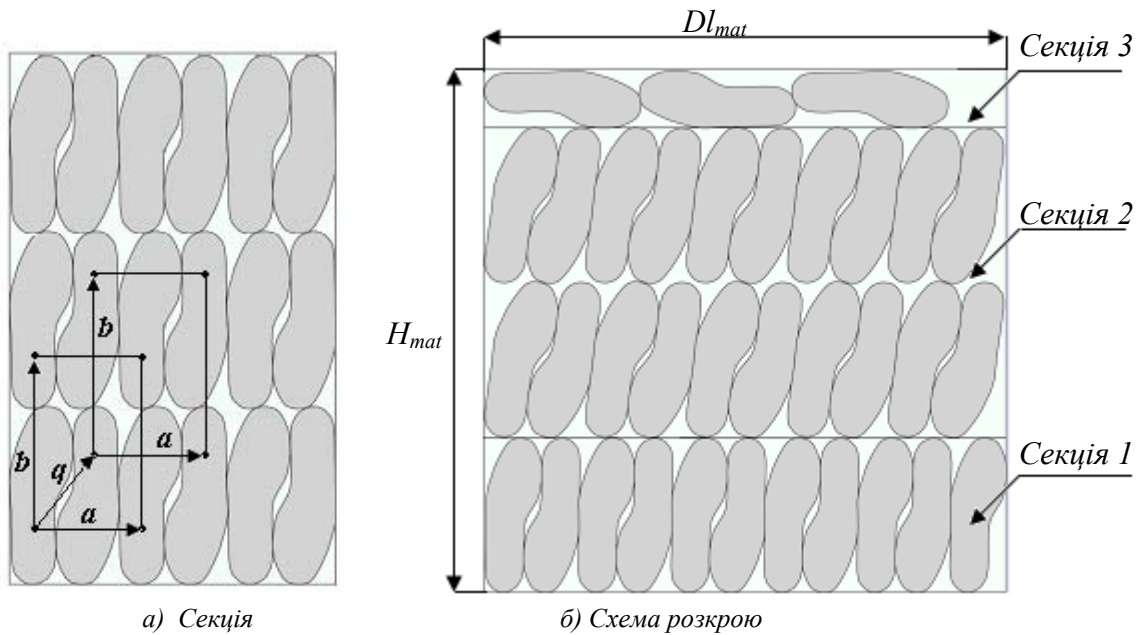


Рис. 1. Секція та схема розкрою

Таке представлення надає можливість дати аналітичне описання контурів розміщуваних фігур у вигляді систем рівнянь відрізків, з яких складаються ці контури. В параметричній формі запису ця система має вигляд [9]

$$\begin{cases} X(t_i) = X_i + (X_{i+1} - X_i)t_i \\ Y(t_i) = Y_i + (Y_{i+1} - Y_i)t_i \end{cases} \quad i = \overline{1, n} \quad (1)$$

де $(X_i; Y_i)$ точки на контурі деталі, вибрані при апроксимації, або вершини багатокутника, t_i - параметр, $t_i \in [0; 1)$.

Досвід свідчить, що для практичних задач достатньо забезпечити точність апроксимації контуру 0.5мм. Іншими словами, максимальне відхилення контуру деталі від ланки апроксимуючої лінії не повинно перевищувати 0.5мм. Виберемо на площині координатну систему XOY . В подальшому будемо визначати координати вершин апроксимуючого багатокутника для плоского геометричного об'єкту відносно фіксованої

точки в середині цього об'єкту. Цю точку назовемо полюсом плоского геометричного об'єкту.

Аналітичне представлення положення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області. Для однозначного відображення положення плоского геометричного об'єкту S в прямокутній області Ω необхідно знати координати полюсу $P_{ij}(Xp_{ij}, Yp_{ij})$ плоского геометричного об'єкту S^q (точки, що знаходиться на плоскому геометричному об'єкті S^q та відносно якої задаються координати вершин апроксимуючого багатокутника $A_k^q(XS_k^q, YS_k^q)$, $k=1,2..n_q$ для цього плоского геометричного об'єкту) в системі координат XOY , що пов'язана із прямокутною областю Ω , та кут повороту θ_{ij} плоского геометричного об'єкту відносно його вихідного положення (рис. 2).

Тоді координати будь-якої вершини $A_k^q(XS_k^q, YS_k^q)$, $k=1,2..n_q$ апроксимуючого багатокутника для плоского геометричного об'єкту S^q в системі

координат XOY , що пов'язана з прямокутною областю Ω (рис. 2), визначатимуться наступним чином[7]:

$$\begin{cases} Xsr_k^q = Xs_k^q \cos \theta_{ij} - Ys_k^q \sin \theta_{ij} + Xp_{ij} \\ Ysr_k^q = Xs_k^q \sin \theta_{ij} + Ys_k^q \cos \theta_{ij} + Yp_{ij} \end{cases} \quad (2)$$

$i = 1, 2 \dots Kd, \quad j = 1, 2 \dots Kr$
 $q = 1, 2 \dots L$

де Kd – кількість плоских геометричних об'єктів в одному ряду секції, Kr – кількість рядів у секції, L – кількість різних за конфігурацією плоских геометричних об'єктів, для яких необхідно спроектувати схеми розкרוлю.

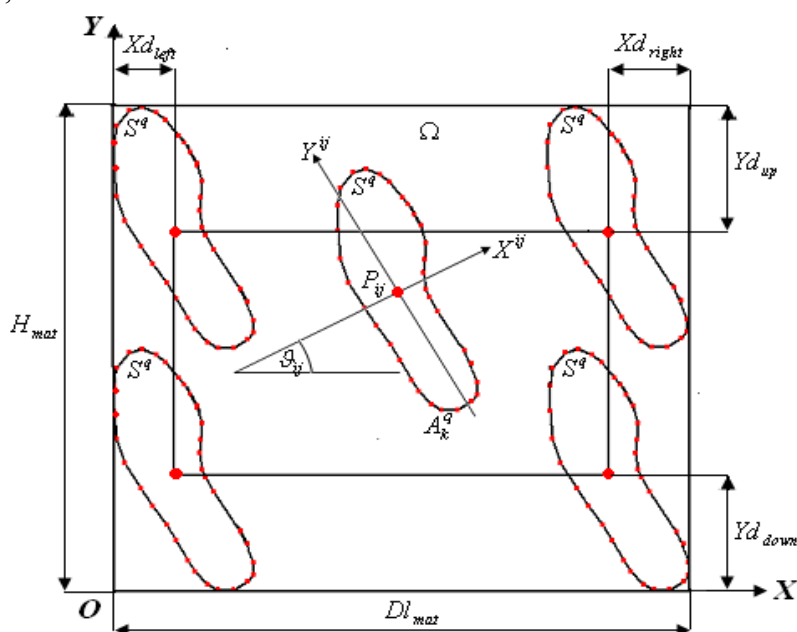


Рис. 2. Визначення положення плоского геометричного об'єкту в прямокутній області Ω

Тобто за допомогою виразів (2) можна однозначно аналітично описати зовнішній контур плоского геометричного об'єкту S^q із заданою точністю ϵ у щільній ґратці на площині.

Математичне описання системи розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області. За систему розміщення плоских геометричних об'єктів візьмемо прямокутну подвійну решітку $W: na + mb + kq$ $n, m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \pm t \dots, k = 0, 1$. Для однозначного визначення параметрів подвійної решітки W необхідно визначити вектори a, b, q .

Визначимо ці вектори через наступні параметри (рис. 3):

Sh_1 – ширина одного плоского геометричного об'єкту;

Sh_2 – ширина двох щільно суміщених плоских геометричних об'єктів;

Sh_3 – ширина трьох щільно суміщених плоских геометричних об'єктів;

H_1 – висота одного плоского геометричного об'єкту;
 H_2 – висота двох щільно суміщених плоских геометричних об'єктів;

Xp_{11}, Yp_{11} – координати полюсу P_{11} плоского геометричного об'єкту.

Тоді вектори a, b матимуть наступні координати:

$$a(\Delta_1, 0), b(0, \Delta_2).$$

Визначимо Δ_1 та Δ_2 .

Так як $P_{11}P_{13} = P_{13}P_{15} = P_{15}P_{17} = P_{21}P_{23} = P_{23}P_{25} = P_{25}P_{27} = P_{29}P_{31} = P_{31}P_{33} = P_{33}P_{35} = P_{35}P_{37} = P_{37}P_{39} = P_{39}P_{41} = P_{41}P_{43} = P_{43}P_{45} = P_{45}P_{47} = P_{47}P_{49} = P_{49}P_{51} = P_{51}P_{53} = P_{53}P_{55} = P_{55}P_{57} = P_{57}P_{59} = P_{59}P_{61} = P_{61}P_{63} = P_{63}P_{65} = P_{65}P_{67} = P_{67}P_{69} = P_{69}P_{71} = P_{71}P_{73} = P_{73}P_{75} = P_{75}P_{77} = P_{77}P_{79} = P_{79}P_{81} = P_{81}P_{83} = P_{83}P_{85} = P_{85}P_{87} = P_{87}P_{89} = P_{89}P_{91} = P_{91}P_{93} = P_{93}P_{95} = P_{95}P_{97} = P_{97}P_{99} = P_{99}P_{101} = P_{101}P_{103} = P_{103}P_{105} = P_{105}P_{107} = P_{107}P_{109} = P_{109}P_{111} = P_{111}P_{113} = P_{113}P_{115} = P_{115}P_{117} = P_{117}P_{119} = P_{119}P_{121} = P_{121}P_{123} = P_{123}P_{125} = P_{125}P_{127} = P_{127}P_{129} = P_{129}P_{131} = P_{131}P_{133} = P_{133}P_{135} = P_{135}P_{137} = P_{137}P_{139} = P_{139}P_{141} = P_{141}P_{143} = P_{143}P_{145} = P_{145}P_{147} = P_{147}P_{149} = P_{149}P_{151} = P_{151}P_{153} = P_{153}P_{155} = P_{155}P_{157} = P_{157}P_{159} = P_{159}P_{161} = P_{161}P_{163} = P_{163}P_{165} = P_{165}P_{167} = P_{167}P_{169} = P_{169}P_{171} = P_{171}P_{173} = P_{173}P_{175} = P_{175}P_{177} = P_{177}P_{179} = P_{179}P_{181} = P_{181}P_{183} = P_{183}P_{185} = P_{185}P_{187} = P_{187}P_{189} = P_{189}P_{191} = P_{191}P_{193} = P_{193}P_{195} = P_{195}P_{197} = P_{197}P_{199} = P_{199}P_{201} = P_{201}P_{203} = P_{203}P_{205} = P_{205}P_{207} = P_{207}P_{209} = P_{209}P_{211} = P_{211}P_{213} = P_{213}P_{215} = P_{215}P_{217} = P_{217}P_{219} = P_{219}P_{221} = P_{221}P_{223} = P_{223}P_{225} = P_{225}P_{227} = P_{227}P_{229} = P_{229}P_{231} = P_{231}P_{233} = P_{233}P_{235} = P_{235}P_{237} = P_{237}P_{239} = P_{239}P_{241} = P_{241}P_{243} = P_{243}P_{245} = P_{245}P_{247} = P_{247}P_{249} = P_{249}P_{251} = P_{251}P_{253} = P_{253}P_{255} = P_{255}P_{257} = P_{257}P_{259} = P_{259}P_{261} = P_{261}P_{263} = P_{263}P_{265} = P_{265}P_{267} = P_{267}P_{269} = P_{269}P_{271} = P_{271}P_{273} = P_{273}P_{275} = P_{275}P_{277} = P_{277}P_{279} = P_{279}P_{281} = P_{281}P_{283} = P_{283}P_{285} = P_{285}P_{287} = P_{287}P_{289} = P_{289}P_{291} = P_{291}P_{293} = P_{293}P_{295} = P_{295}P_{297} = P_{297}P_{299} = P_{299}P_{301} = P_{301}P_{303} = P_{303}P_{305} = P_{305}P_{307} = P_{307}P_{309} = P_{309}P_{311} = P_{311}P_{313} = P_{313}P_{315} = P_{315}P_{317} = P_{317}P_{319} = P_{319}P_{321} = P_{321}P_{323} = P_{323}P_{325} = P_{325}P_{327} = P_{327}P_{329} = P_{329}P_{331} = P_{331}P_{333} = P_{333}P_{335} = P_{335}P_{337} = P_{337}P_{339} = P_{339}P_{341} = P_{341}P_{343} = P_{343}P_{345} = P_{345}P_{347} = P_{347}P_{349} = P_{349}P_{351} = P_{351}P_{353} = P_{353}P_{355} = P_{355}P_{357} = P_{357}P_{359} = P_{359}P_{361} = P_{361}P_{363} = P_{363}P_{365} = P_{365}P_{367} = P_{367}P_{369} = P_{369}P_{371} = P_{371}P_{373} = P_{373}P_{375} = P_{375}P_{377} = P_{377}P_{379} = P_{379}P_{381} = P_{381}P_{383} = P_{383}P_{385} = P_{385}P_{387} = P_{387}P_{389} = P_{389}P_{391} = P_{391}P_{393} = P_{393}P_{395} = P_{395}P_{397} = P_{397}P_{399} = P_{399}P_{401} = P_{401}P_{403} = P_{403}P_{405} = P_{405}P_{407} = P_{407}P_{409} = P_{409}P_{411} = P_{411}P_{413} = P_{413}P_{415} = P_{415}P_{417} = P_{417}P_{419} = P_{419}P_{421} = P_{421}P_{423} = P_{423}P_{425} = P_{425}P_{427} = P_{427}P_{429} = P_{429}P_{431} = P_{431}P_{433} = P_{433}P_{435} = P_{435}P_{437} = P_{437}P_{439} = P_{439}P_{441} = P_{441}P_{443} = P_{443}P_{445} = P_{445}P_{447} = P_{447}P_{449} = P_{449}P_{451} = P_{451}P_{453} = P_{453}P_{455} = P_{455}P_{457} = P_{457}P_{459} = P_{459}P_{461} = P_{461}P_{463} = P_{463}P_{465} = P_{465}P_{467} = P_{467}P_{469} = P_{469}P_{471} = P_{471}P_{473} = P_{473}P_{475} = P_{475}P_{477} = P_{477}P_{479} = P_{479}P_{481} = P_{481}P_{483} = P_{483}P_{485} = P_{485}P_{487} = P_{487}P_{489} = P_{489}P_{491} = P_{491}P_{493} = P_{493}P_{495} = P_{495}P_{497} = P_{497}P_{499} = P_{499}P_{501} = P_{501}P_{503} = P_{503}P_{505} = P_{505}P_{507} = P_{507}P_{509} = P_{509}P_{511} = P_{511}P_{513} = P_{513}P_{515} = P_{515}P_{517} = P_{517}P_{519} = P_{519}P_{521} = P_{521}P_{523} = P_{523}P_{525} = P_{525}P_{527} = P_{527}P_{529} = P_{529}P_{531} = P_{531}P_{533} = P_{533}P_{535} = P_{535}P_{537} = P_{537}P_{539} = P_{539}P_{541} = P_{541}P_{543} = P_{543}P_{545} = P_{545}P_{547} = P_{547}P_{549} = P_{549}P_{551} = P_{551}P_{553} = P_{553}P_{555} = P_{555}P_{557} = P_{557}P_{559} = P_{559}P_{561} = P_{561}P_{563} = P_{563}P_{565} = P_{565}P_{567} = P_{567}P_{569} = P_{569}P_{571} = P_{571}P_{573} = P_{573}P_{575} = P_{575}P_{577} = P_{577}P_{579} = P_{579}P_{581} = P_{581}P_{583} = P_{583}P_{585} = P_{585}P_{587} = P_{587}P_{589} = P_{589}P_{591} = P_{591}P_{593} = P_{593}P_{595} = P_{595}P_{597} = P_{597}P_{599} = P_{599}P_{601} = P_{601}P_{603} = P_{603}P_{605} = P_{605}P_{607} = P_{607}P_{609} = P_{609}P_{611} = P_{611}P_{613} = P_{613}P_{615} = P_{615}P_{617} = P_{617}P_{619} = P_{619}P_{621} = P_{621}P_{623} = P_{623}P_{625} = P_{625}P_{627} = P_{627}P_{629} = P_{629}P_{631} = P_{631}P_{633} = P_{633}P_{635} = P_{635}P_{637} = P_{637}P_{639} = P_{639}P_{641} = P_{641}P_{643} = P_{643}P_{645} = P_{645}P_{647} = P_{647}P_{649} = P_{649}P_{651} = P_{651}P_{653} = P_{653}P_{655} = P_{655}P_{657} = P_{657}P_{659} = P_{659}P_{661} = P_{661}P_{663} = P_{663}P_{665} = P_{665}P_{667} = P_{667}P_{669} = P_{669}P_{671} = P_{671}P_{673} = P_{673}P_{675} = P_{675}P_{677} = P_{677}P_{679} = P_{679}P_{681} = P_{681}P_{683} = P_{683}P_{685} = P_{685}P_{687} = P_{687}P_{689} = P_{689}P_{691} = P_{691}P_{693} = P_{693}P_{695} = P_{695}P_{697} = P_{697}P_{699} = P_{699}P_{701} = P_{701}P_{703} = P_{703}P_{705} = P_{705}P_{707} = P_{707}P_{709} = P_{709}P_{711} = P_{711}P_{713} = P_{713}P_{715} = P_{715}P_{717} = P_{717}P_{719} = P_{719}P_{721} = P_{721}P_{723} = P_{723}P_{725} = P_{725}P_{727} = P_{727}P_{729} = P_{729}P_{731} = P_{731}P_{733} = P_{733}P_{735} = P_{735}P_{737} = P_{737}P_{739} = P_{739}P_{741} = P_{741}P_{743} = P_{743}P_{745} = P_{745}P_{747} = P_{747}P_{749} = P_{749}P_{751} = P_{751}P_{753} = P_{753}P_{755} = P_{755}P_{757} = P_{757}P_{759} = P_{759}P_{761} = P_{761}P_{763} = P_{763}P_{765} = P_{765}P_{767} = P_{767}P_{769} = P_{769}P_{771} = P_{771}P_{773} = P_{773}P_{775} = P_{775}P_{777} = P_{777}P_{779} = P_{779}P_{781} = P_{781}P_{783} = P_{783}P_{785} = P_{785}P_{787} = P_{787}P_{789} = P_{789}P_{791} = P_{791}P_{793} = P_{793}P_{795} = P_{795}P_{797} = P_{797}P_{799} = P_{799}P_{801} = P_{801}P_{803} = P_{803}P_{805} = P_{805}P_{807} = P_{807}P_{809} = P_{809}P_{811} = P_{811}P_{813} = P_{813}P_{815} = P_{815}P_{817} = P_{817}P_{819} = P_{819}P_{821} = P_{821}P_{823} = P_{823}P_{825} = P_{825}P_{827} = P_{827}P_{829} = P_{829}P_{831} = P_{831}P_{833} = P_{833}P_{835} = P_{835}P_{837} = P_{837}P_{839} = P_{839}P_{841} = P_{841}P_{843} = P_{843}P_{845} = P_{845}P_{847} = P_{847}P_{849} = P_{849}P_{851} = P_{851}P_{853} = P_{853}P_{855} = P_{855}P_{857} = P_{857}P_{859} = P_{859}P_{861} = P_{861}P_{863} = P_{863}P_{865} = P_{865}P_{867} = P_{867}P_{869} = P_{869}P_{871} = P_{871}P_{873} = P_{873}P_{875} = P_{875}P_{877} = P_{877}P_{879} = P_{879}P_{881} = P_{881}P_{883} = P_{883}P_{885} = P_{885}P_{887} = P_{887}P_{889} = P_{889}P_{891} = P_{891}P_{893} = P_{893}P_{895} = P_{895}P_{897} = P_{897}P_{899} = P_{899}P_{901} = P_{901}P_{903} = P_{903}P_{905} = P_{905}P_{907} = P_{907}P_{909} = P_{909}P_{911} = P_{911}P_{913} = P_{913}P_{915} = P_{915}P_{917} = P_{917}P_{919} = P_{919}P_{921} = P_{921}P_{923} = P_{923}P_{925} = P_{925}P_{927} = P_{927}P_{929} = P_{929}P_{931} = P_{931}P_{933} = P_{933}P_{935} = P_{935}P_{937} = P_{937}P_{939} = P_{939}P_{941} = P_{941}P_{943} = P_{943}P_{945} = P_{945}P_{947} = P_{947}P_{949} = P_{949}P_{951} = P_{951}P_{953} = P_{953}P_{955} = P_{955}P_{957} = P_{957}P_{959} = P_{959}P_{961} = P_{961}P_{963} = P_{963}P_{965} = P_{965}P_{967} = P_{967}P_{969} = P_{969}P_{971} = P_{971}P_{973} = P_{973}P_{975} = P_{975}P_{977} = P_{977}P_{979} = P_{979}P_{981} = P_{981}P_{983} = P_{983}P_{985} = P_{985}P_{987} = P_{987}P_{989} = P_{989}P_{991} = P_{991}P_{993} = P_{993}P_{995} = P_{995}P_{997} = P_{997}P_{999} = P_{999}P_{1001} = P_{1001}P_{1003} = P_{1003}P_{1005} = P_{1005}P_{1007} = P_{1007}P_{1009} = P_{1009}P_{1011} = P_{1011}P_{1013} = P_{1013}P_{1015} = P_{1015}P_{1017} = P_{1017}P_{1019} = P_{1019}P_{1021} = P_{1021}P_{1023} = P_{1023}P_{1025} = P_{1025}P_{1027} = P_{1027}P_{1029} = P_{1029}P_{1031} = P_{1031}P_{1033} = P_{1033}P_{1035} = P_{1035}P_{1037} = P_{1037}P_{1039} = P_{1039}P_{1041} = P_{1041}P_{1043} = P_{1043}P_{1045} = P_{1045}P_{1047} = P_{1047}P_{1049} = P_{1049}P_{1051} = P_{1051}P_{1053} = P_{1053}P_{1055} = P_{1055}P_{1057} = P_{1057}P_{1059} = P_{1059}P_{1061} = P_{1061}P_{1063} = P_{1063}P_{1065} = P_{1065}P_{1067} = P_{1067}P_{1069} = P_{1069}P_{1071} = P_{1071}P_{1073} = P_{1073}P_{1075} = P_{1075}P_{1077} = P_{1077}P_{1079} = P_{1079}P_{1081} = P_{1081}P_{1083} = P_{1083}P_{1085} = P_{1085}P_{1087} = P_{1087}P_{1089} = P_{1089}P_{1091} = P_{1091}P_{1093} = P_{1093}P_{1095} = P_{1095}P_{1097} = P_{1097}P_{1099} = P_{1099}P_{1101} = P_{1101}P_{1103} = P_{1103}P_{1105} = P_{1105}P_{1107} = P_{1107}P_{1109} = P_{1109}P_{1111} = P_{1111}P_{1113} = P_{1113}P_{1115} = P_{1115}P_{1117} = P_{1117}P_{1119} = P_{1119}P_{1121} = P_{1121}P_{1123} = P_{1123}P_{1125} = P_{1125}P_{1127} = P_{1127}P_{1129} = P_{1129}P_{1131} = P_{1131}P_{1133} = P_{1133}P_{1135} = P_{1135}P_{1137} = P_{1137}P_{1139} = P_{1139}P_{1141} = P_{1141}P_{1143} = P_{1143}P_{1145} = P_{1145}P_{1147} = P_{1147}P_{1149} = P_{1149}P_{1151} = P_{1151}P_{1153} = P_{1153}P_{1155} = P_{1155}P_{1157} = P_{1157}P_{1159} = P_{1159}P_{1161} = P_{1161}P_{1163} = P_{1163}P_{1165} = P_{1165}P_{1167} = P_{1167}P_{1169} = P_{1169}P_{1171} = P_{1171}P_{1173} = P_{1173}P_{1175} = P_{1175}P_{1177} = P_{1177}P_{1179} = P_{1179}P_{1181} = P_{1181}P_{1183} = P_{1183}P_{1185} = P_{1185}P_{1187} = P_{1187}P_{1189} = P_{1189}P_{1191} = P_{1191}P_{1193} = P_{1193}P_{1195} = P_{1195}P_{1197} = P_{1197}P_{1199} = P_{1199}P_{1201} = P_{1201}P_{1203} = P_{1203}P_{1205} = P_{1205}P_{1207} = P_{1207}P_{1209} = P_{1209}P_{1211} = P_{1211}P_{1213} = P_{1213}P_{1215} = P_{1215}P_{1217} = P_{1217}P_{1219} = P_{1219}P_{1221} = P_{1221}P_{1223} = P_{1223}P_{1225} = P_{1225}P_{1227} = P_{1227}P_{1229} = P_{1229}P_{1231} = P_{1231}P_{1233} = P_{1233}P_{1235} = P_{1235}P_{1237} = P_{1237}P_{1239} = P_{1239}P_{1241} = P_{1241}P_{1243} = P_{1243}P_{1245} = P_{1245}P_{1247} = P_{1247}P_{1249} = P_{1249}P_{1251} = P_{1251}P_{1253} = P_{1253}P_{1255} = P_{1255}P_{1257} = P_{1257}P_{1259} = P_{1259}P_{1261} = P_{1261}P_{1263} = P_{1263}P_{1265} = P_{1265}P_{1267} = P_{1267}P_{1269} = P_{1269}P_{1271} = P_{1271}P_{1273} = P_{1273}P_{1275} = P_{1275}P_{1277} = P_{1277}P_{1279} = P_{1279}P_{1281} = P_{1281}P_{1283} = P_{1283}P_{1285} = P_{1285}P_{1287} = P_{1287}P_{1289} = P_{1289}P_{1291} = P_{1291}P_{1293} = P_{1293}P_{1295} = P_{1295}P_{1297} = P_{1297}P_{1299} = P_{1299}P_{1301} = P_{1301}P_{1303} = P_{1303}P_{1305} = P_{1305}P_{1307} = P_{1307}P_{1309} = P_{1309}P_{1311} = P_{1311}P_{1313} = P_{1313}P_{1315} = P_{1315}P_{1317} = P_{1317}P_{1319} = P_{1319}P_{1321} = P_{1321}P_{1323} = P_{1323}P_{1325} = P_{1325}P_{1327} = P_{1327}P_{1329} = P_{1329}P_{1331} = P_{1331}P_{1333} = P_{1333}P_{1335} = P_{1335}P_{1337} = P_{1337}P_{1339} = P_{1339}P_{1341} = P_{1341}P_{1343} = P_{1343}P_{1345} = P_{1345}P_{1347} = P_{1347}P_{1349} = P_{1349}P_{1351} = P_{1351}P_{1353} = P_{1353}P_{1355} = P_{1355}P_{1357} = P_{1357}P_{1359} = P_{1359}P_{1361} = P_{1361}P_{1363} = P_{1363}P_{1365} = P_{1365}P_{1367} = P_{1367}P_{1369} = P_{1369}P_{1371} = P_{1371}P_{1373} = P_{1373}P_{1375} = P_{1375}P_{1377} = P_{1377}P_{1379} = P_{1379}P_{1381} = P_{1381}P_{1383} = P_{1383}P_{1385} = P_{1385}P_{1387} = P_{1387}P_{1389} = P_{1389}P_{1391} = P_{1391}P_{1393} = P_{1393}P_{1395} = P_{1395}P_{1397} = P_{1397}P_{1399} = P_{1399}P_{1401} = P_{1401}P_{1403} = P_{1403}P_{1405} = P_{1405}P_{1407} = P_{1407}P_{1409} = P_{1409}P_{1411} = P_{1411}P_{1413} = P_{1413}P_{1415} = P_{1415}P_{1417} = P_{1417}P_{1419} = P_{1419}P_{1421} = P_{1421}P_{1423} = P_{1423}P_{1425} = P_{1425}P_{1427} = P_{1427}P_{1429} = P_{1429}P_{1431} = P_{1431}P_{1433} = P_{1433}P_{1435} = P_{1435}P_{1437} = P_{1437}P_{1439} = P_{1439}P_{1441} = P_{1441}P_{1443} = P_{1443}P_{1445} = P_{1445}P_{1447} = P_{1447}P_{1449} = P_{1449}P_{1451} = P_{1451}P_{1453} = P_{1453}P_{1455} = P_{1455}P_{1457} = P_{1457}P_{1459} = P_{1459}P_{1461} = P_{1461}P_{1463} = P_{1463}P_{1465} = P_{1465}P_{1467} = P_{1467}P_{1469} = P_{1469}P_{1471} = P_{1471}P_{1473} = P_{1473}P_{1475} = P_{1475}P_{1477} = P_{1477}P_{1479} = P_{1479}P_{1481} = P_{1481}P_{1483} = P_{1483}P_{1485} = P_{1485}P_{1487} = P_{1487}P_{1489} = P_{1489}P_{1491} = P_{1491}P_{1493} = P_{1493}P_{1495} = P_{1495}P_{1497} = P_{1497}P_{1499} = P_{1499}P_{1501} = P_{1501}P_{1503} = P_{1503}P_{1505} = P_{1505}P_{1507} = P_{1507}P_{1509} = P_{1509}P_{1511} = P_{1511}P_{1513} = P_{1513}P_{1515} = P_{1515}P_{1517} = P_{1517}P_{1519} = P_{1519}P_{1521} = P_{1521}P_{1523} = P_{1523}P_{1525} = P_{1525}P_{1527} = P_{1527}P_{1529} = P_{1529}P_{1531} = P_{1531}P_{1533} = P_{1533}P_{1535} = P_{1535}P_{1537} = P_{1537}P_{1539} = P_{1539}P_{1541} = P_{1541}P_{1543} = P_{1543}P_{1545} = P_{1545}P_{1547} = P_{1547}P_{1549} = P_{1549}P_{1551} = P_{1551}P_{1553} = P_{1553}P_{1555} = P_{1555}P_{1557} = P_{1557}P_{1559} = P_{1559}P_{1561} = P_{1561}P_{1563} = P_{1563}P_{1565} = P_{1565}P_{1567} = P_{1567}P_{1569} = P_{1569}P_{1571} = P_{1571}P_{1573} = P_{1573}P_{1575} = P_{1575}P_{1577} = P_{1577}P_{1579} = P_{1579}P_{1581} = P_{1581}P_{1583} = P_{1583}P_{1585} = P_{1585}P_{1587} = P_{1587}P_{1589} = P_{1589}P_{1591} = P_{1591}P_{1593} = P_{1593}P_{1595} = P_{159$

$z = Sh_2 - Xp_{11}$. Тоді вектор q визначається наступним чином:

$$q(Xp_{12}-Xp_{11}, Yp_{12}-Yp_{11}) = \{Sh_2-2Xp_{11}, H_1-Yp_{11}\}.$$

Визначивши вектори $a\{a_x, 0\}$, $b\{0, b_y\}$, $q\{q_x, q_y\}$ та Xp_{11} , Yp_{11} можна виразити координати полюса будь-якого із розміщених в секції плоского геометрич-

ного об'єкту через ці величини наступним чином (рис. 3.6):

$$Xp_{ij} = Xp_{11} + [i/2] \cdot a_x + (j+1-2 \cdot [(j+1)/2]) \cdot q_x \quad (3)$$

$$Yp_{ij} = Yp_{11} + (i+1) \cdot b_y + (j+1-2 \cdot [(j+1)/2]) \cdot q_y \quad (4)$$

$$i=1,2..Kd, j=1,2..Kr$$

де $Kd = [(Dl_{mat} - Dl_1)/a_x]$, $Kr_{max} = [(H_{mat} - H_1)/b_y]$ та $Kr = 1,2..Kr_{max}$, Kr_{max} - максимальна можлива кількість рядів у секціях для заданого плоского геометричного об'єкту.

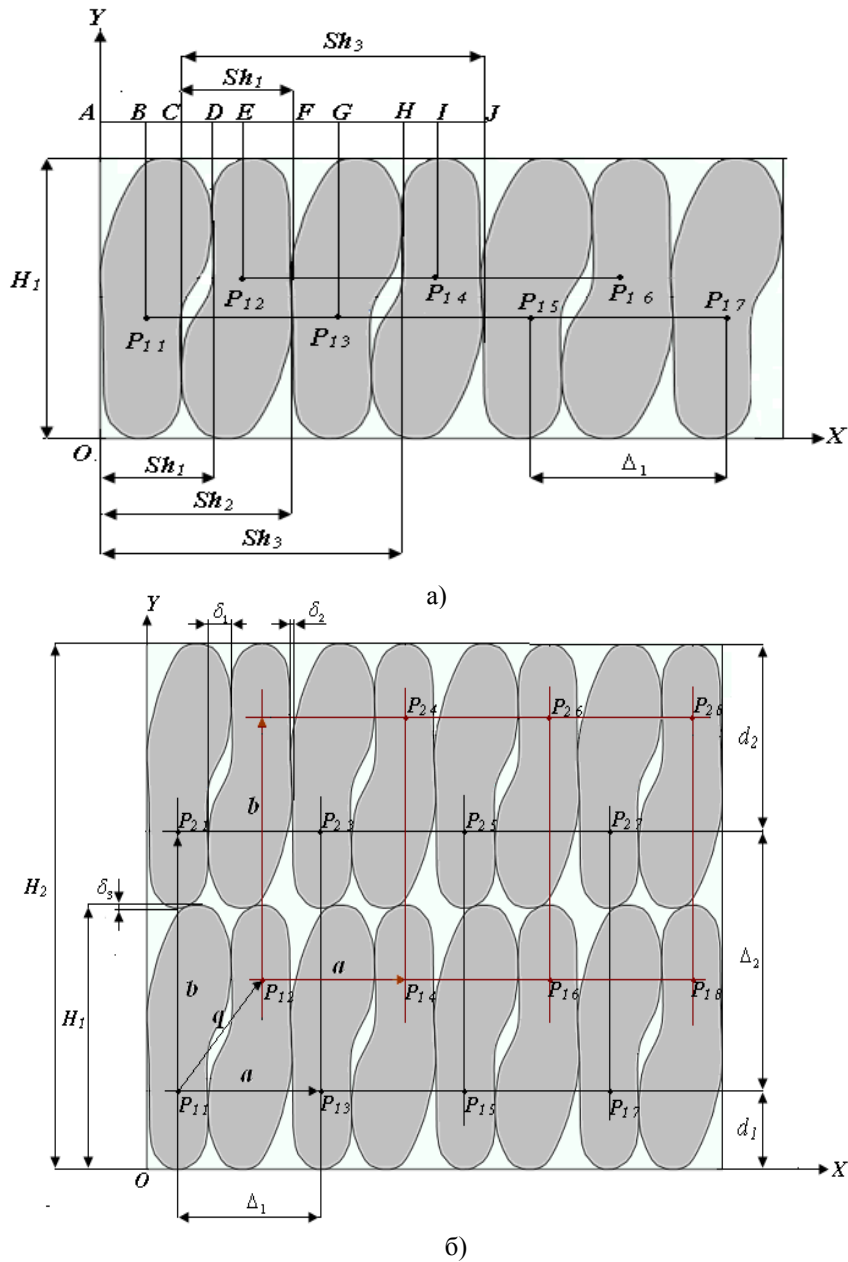


Рис. 3. Параметри, що визначають схему розкря

Для визначення Sh_2 введемо поняття лівої L_{left} та правої L_{right} границь зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту S . Під лівою(правою) границею $L_{left}(L_{right})$ зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту S будемо розуміти ділянку зовнішнього контуру цього плоского геометричного об'єкту, яка знаходиться ліворуч(праворуч) від прямої, що з'єднує точки з максимальним та мінімальним значенням координати Y .

Так як зовнішній контур плоского геометричного об'єкту ми апроксимуємо у вигляді багатокутника, то ліва та права границі зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту будуть представлятись у вигляді ламаних ліній, тобто $L_{left} \{X_{left_i}, Y_{left_i}\} i = 1, 2, \dots, n_{left}$ та $L_{right} \{X_{right_j}, Y_{right_j}\} j = 1, 2, \dots, n_{right}$ (рис. 4.a).

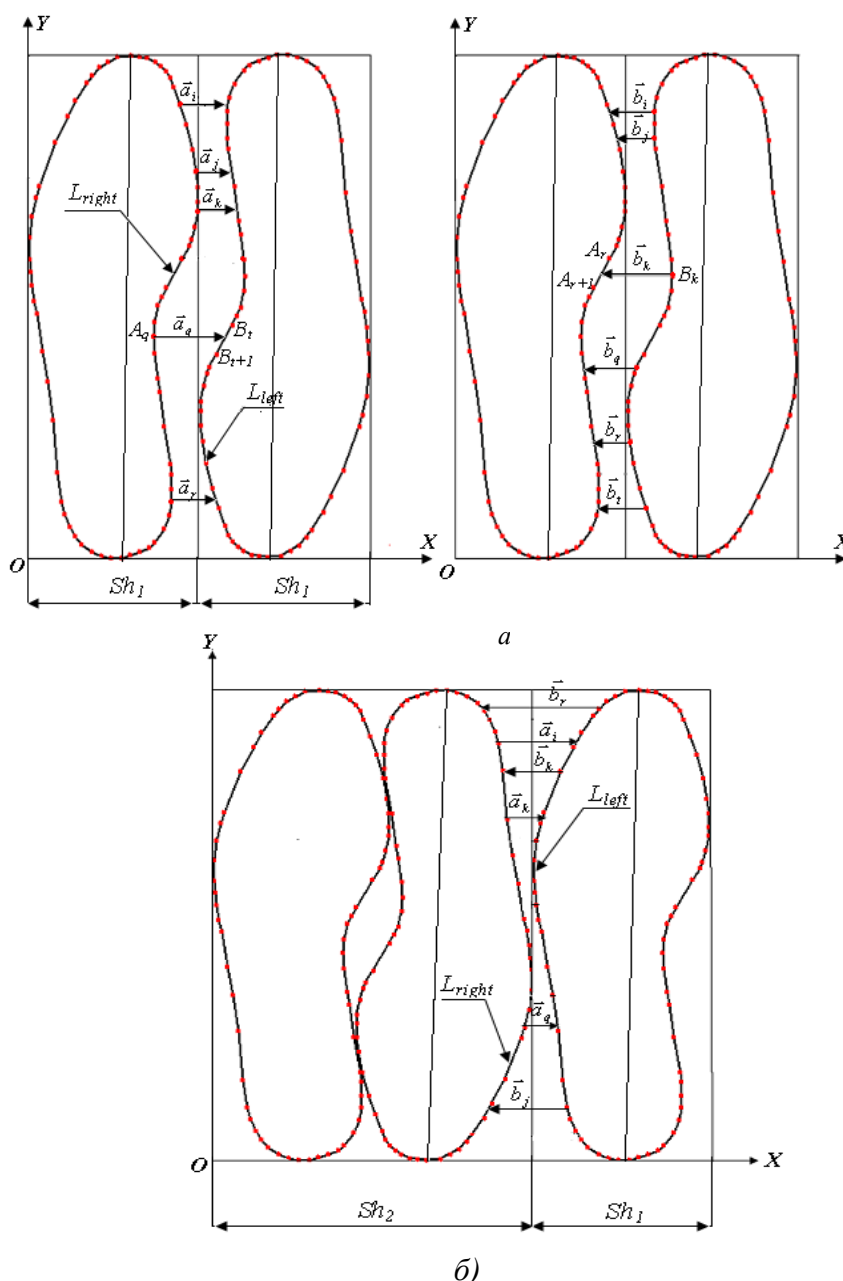


Рис. 4. Знаходження параметрів цільного суцїщення Sh_2 та Sh_3

Для знаходження Sh_2 (рис. 5.a) (Sh_3 (рис.5.6)):

- щільно сумістимо в ряду прямокутники, які описані навколо першого (перших двох) та другого(третього) плоских геометричних об'єктів;

- з кожної вершини A_i правої границі зовнішнього контуру першого (другого) плоского геометричного об'єкта проведемо вектор \vec{a}_i паралельний вісі OX таким чином, що кінець його дотикається до лівої границі другого(третього) плоского геометричного об'єкта;

- знайдемо $\delta_a = \min_{i=1,2..n_{right}} \{|\vec{a}_i|\}$;

- серед векторів \vec{a}_i знайдемо ті вектори, які задовольняють умові $|\vec{a}_i| = \delta_a$. Для них визначимо вектор \vec{a}_k з максимальним значенням координати Y , тобто $Y_{\vec{a}_k} = Y \max_{left}$. Визначимо Q_a як $Q_a = H_1 - Y \max_{left}$;

- з кожної вершини B_j лівої границі зовнішнього контуру другого (третього) плоского геометричного об'єкта проведемо вектор \vec{b}_j паралельний вісі OX таким чином, що кінець його дотикається до правої границі першого(другого) плоского геометричного об'єкта;

- знайдемо $\delta_b = \min_{j=1,2..n_{left}} \{|\vec{b}_j|\}$;

- серед векторів \vec{b}_j знайдемо ті вектори, які задовольняють умові $|\vec{b}_j| = \delta_b$. Для них визначимо

вектор \vec{b}_k з максимальним значенням координати Y , тобто $Y_{\vec{b}_k} = Y \max_{right1}$ ($Y_{\vec{b}_k} = Y \max_{right2}$). Ви-

значимо Q_{1b} (Q_{2b}) як $Q_{1b} = H_1 - Y \max_{right}$ ($Q_{2b} = H_1 - Y \max_{right2}$);

- знайдемо $\delta_1 = \min\{\delta_a, \delta_b\}$

($\delta_2 = \min\{\delta_a, \delta_b\}$)(рис.4);

- знайдемо $Q_1 = \begin{cases} Q_{1a}, & \text{якщо } \delta_a = \delta_1 \\ Q_{1b}, & \text{якщо } \delta_b = \delta_1 \end{cases}$

($Q_2 = \begin{cases} Q_{2a}, & \text{якщо } \delta_a = \delta_2 \\ Q_{2b}, & \text{якщо } \delta_b = \delta_2 \end{cases}$);

- знайдемо $Q = \min\{Q_1, Q_2\}$;

- визначимо Sh_2 (Sh_3) як $Sh_2 = 2Sh_1 - \delta_1$

• ($Sh_3 = Sh_2 + Sh_1 - \delta_2$).

Введемо поняття верхньої границі нижнього ряду та нижньої границі верхнього ряду у секції. Для цього щільно сумістимо два прямокутники, що описані навколо двох рядів щільно суміщених плоских геометричних об'єктів (рис. 5). Під верхньою (нижньою) границею нижнього(верхнього) ряду у секції будемо підрозумувати ломану лінію, яка складається із ділянок зовнішніх контурів щільно суміщених у ряду плоских геометричних об'єктів та координата Y яких задовольняє наступній умові:

$$H_1 - Q \leq Y \leq H_1 \quad (H_1 \leq Y \leq H_1 + Q).$$

Нехай верхня границя нижнього ряду секції описується функцією $F_1(x,y)=0$, а нижня границя верхнього ряду секції описується функцією $F_2(x,y)=0$. Очевидно, що $F_1(x,y)=0$ та $F_2(x,y)=0$ є періодичними функціями з періодом, який дорівнює довжині вектору решітки \mathbf{a} , тобто $T=|\mathbf{a}|$ (рис. 5). Тоді для щільного суміщення рядів у секції достатньо щільно сумістити ділянки верхньої границі нижнього ряду та нижньої границі верхнього ряду секції на наступному інтервалі $X_0 \leq X \leq X_0 + T$. значення X : Для щільного суміщення верхнього ряду з нижнім рядом в секції необхідно визначити величини зсуву верхнього ряду δ_3 , Тобто необхідно для виділених ділянок верхньої границі нижнього ряду та нижньої границі верхнього ряду секції на інтервалі $X_0 \leq X \leq X_0 + T$:

- щільно сумістити прямокутники, що описані навколо верхнього та нижнього рядів у секції(рис. 6.a);

- виділити ділянки верхньої границі нижнього ряду та нижньої границі верхнього ряду секції на інтервалі $X_0 \leq X \leq X_0 + T$ (рис. 5.6);

- з кожної вершини A_i верхньої границі нижнього ряду проведемо вектор \vec{a}_i паралельно вісі OY таким чином, що кінець його дотикається до нижньої границі верхнього ряду секції(рис. 6.б);

- знайти $\delta_a = \min_{i=1,2..n_{up}} \{|\vec{a}_i|\}$;

- з кожної вершини B_j верхньої границі нижнього ряду проведемо вектор \vec{b}_j паралельно вісі OY таким чином, що кінець його дотикається до нижньої границі верхнього ряду секції(рис. 6.б);

- знайти $\delta_b = \min_{j=1,2,\dots,n_{down}} \{\bar{b}_j\}$;
- знайти $\delta_3 = \min\{\delta_a, \delta_b\}$.

Тоді $H_2 = 2H_1 - \delta_3$ (рис. 5).

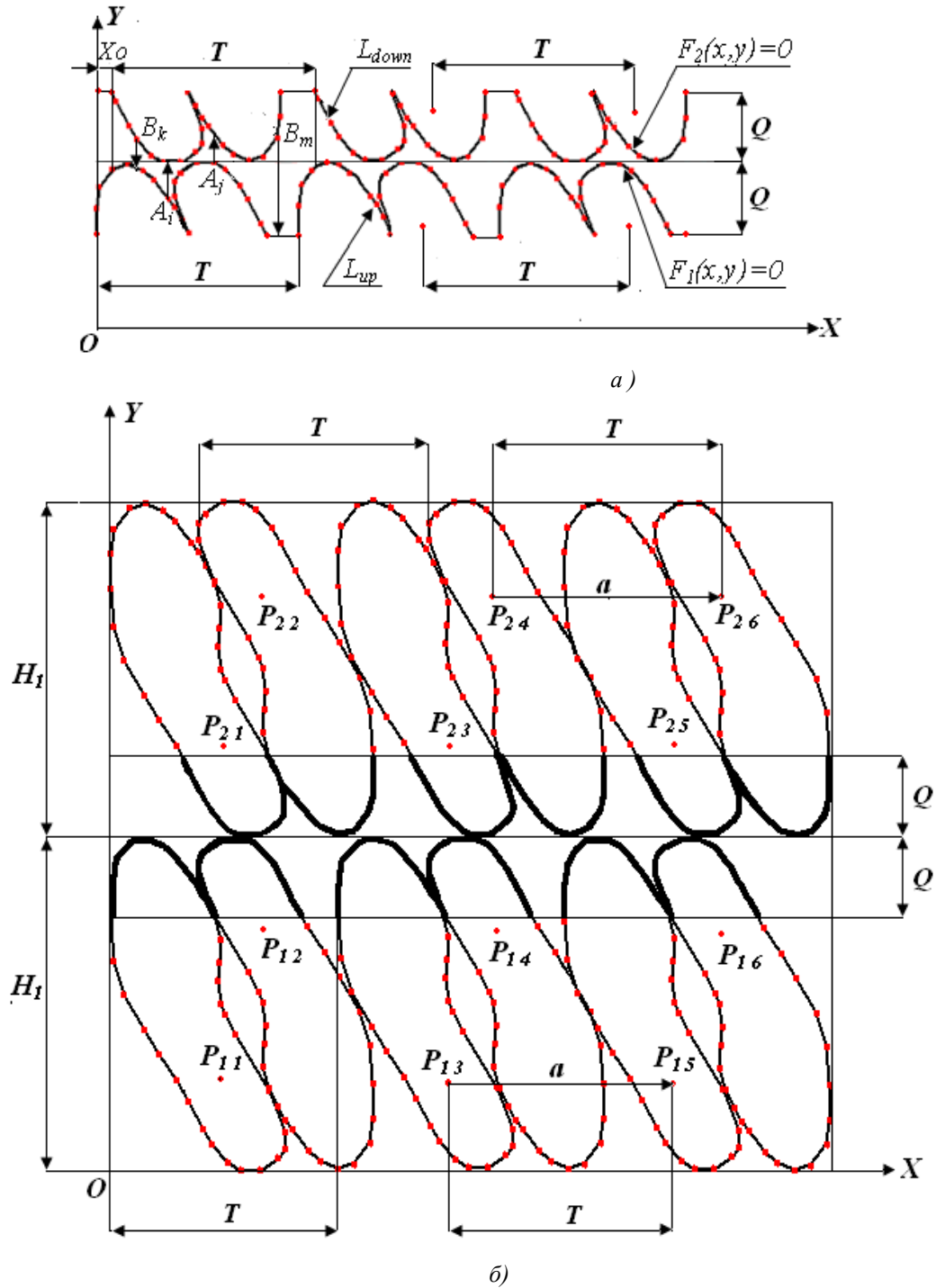


Рис. 5. Щільне суміщення рядів

Отримання аналітичного виразу для функції цілі. За функцію цілі візьмемо щільність P_{jm} секції Q_{jm} – це відношення чистої площі плоских геометричних об'єктів S_j , які розміщені у секції до площі секції, тобто

$$P_{jm} = N_{jm} |S_j| / (Dl_{mat} \cdot H_{jm}),$$

де N_{jm} – кількість плоских геометричних об'єктів S_j , що розміщені у секції Q_{jm} ; $|S_j|$ – площа плоского геометричного об'єкта S_j .

Визначимо N_{jm}, H_{jm} . Очевидно, що:

$$N_{jm} = Kd \cdot Kr; \quad H_{jm} = (Kr - 1) \cdot b_j + H_1.$$

Алгоритм генерування секцій. Для кожного із плоских геометричних об'єктів $S_i, i=1,2..K$ дет генеруємо множину допустимих секцій за наступним алгоритмом:

- визначаємо параметри $Xp_{1i}, Yp_{1i}, Sh_1, Sh_2, Sh_3, H_1, H_2$ для плоского геометричного об'єкту S_i ;
- визначаємо вектори решітки a, b, q для плоского геометричного об'єкту S_i ;
- визначаємо параметри $Xp_{1i}^A, Yp_{1i}^A, Sh_{1i}^A, Sh_{2i}^A, Sh_{3i}^A, H_{1i}^A, H_{2i}^A$ для плоского геометричного об'єкту S_i , які за-

безпечать стали відстань Δ між плоскими геометричними об'єктами S_i при їх щільному розміщенні;

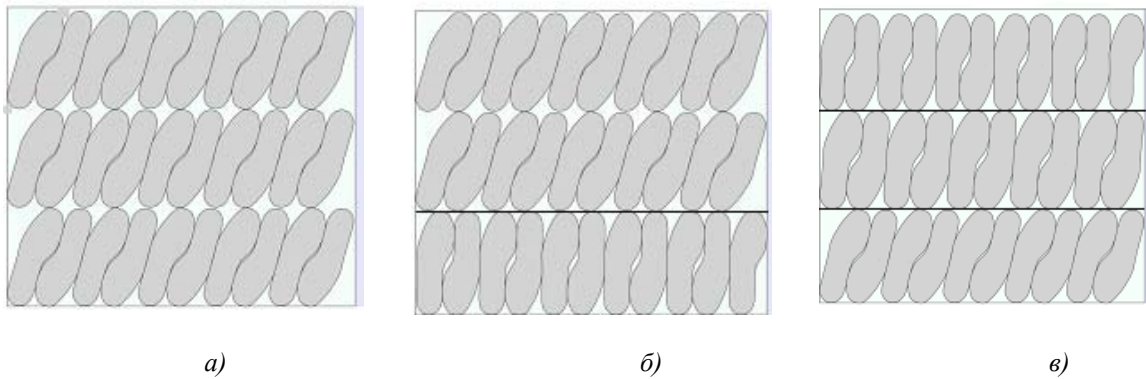
- визначаємо вектори решітки a^A, b^A, q^A для плоского геометричного об'єкту S_i , які забезпечать стали відстань Δ між плоскими геометричними об'єктами S_i при їх щільному розміщенні;

- визначаємо Kd – максимальну можливу кількість плоских геометричних об'єктів S_i в ряду секції;

- визначаємо максимальну можливу кількість рядів Kr_{max} в секції для плоского геометричного об'єкту S_i ;

- генеруємо секції для плоского геометричного об'єкту $S_j, j=1,2..k$ з одного ряду, двох рядів і так до Kr_{max} рядів.

Генерування множини допустимих схем розкрою. Схеми розкрою генеруються із комбінації однієї, двох, трьох секцій для різних плоских геометричних об'єктів із множини згенерованих секцій (рис. 6). Схему розкрою будемо вважати допустимою, якщо для неї виконується наступна умова: $P_{sx} \geq P_0$, де P_{sx} – щільність розміщення плоских геометричних об'єктів в схемі розкрою, P_0 – наперед задана допустима щільність розміщення плоских геометричних об'єктів в схемі розкрою.



а) з однієї секції; б) з двох секцій; в) з трьох секцій

Рис. 6. Схема розкрою, що складається:

Щільність розміщення плоских геометричних об'єктів в схемі розкрою визначається наступним чином:

- для схеми розкрою, що складається з однієї секції (рис. 6.а)

$$P_{sx} = P_{jm} \cdot H_{jm} / H_{mat};$$

- для схеми розкрою, що складається з двох секцій (рис. 6.б)

$$P_{sx} = (P_{jm} \cdot H_{jm} + P_{it} \cdot H_{it}) / H_{mat};$$

- для схеми розкрою, що складається з трьох секцій (рис. 6.в)

$$P_{sx} = (P_{jm} \cdot H_{jm} + P_{it} \cdot H_{it} + P_{nr} \cdot H_{nr}) / H_{mat},$$

де P_{jm}, P_{it}, P_{nr} – відповідно щільність розміщення плоских геометричних об'єктів в j, i, n – их секціях відповідно для плоских геометричних об'єктів S_m, S_t, S_r .

Алгоритм генерування схем розкрою. Алгоритм генерування схем розкрою складається із трьох основних частин:

- генерування схем розкрою для одного виду плоского геометричного об'єкту $S_j, j=1,2..k$. Це будуть секції для плоских геометричних об'єктів $S_j, j=1,2..k$ з максимально допустимою кількістю рядів;
- генерування схем розкрою із двох секцій з різними видами плоских геометричних об'єктів;
- генерування схем розкрою із трьох секцій з різними видами плоских геометричних об'єктів.

Введемо поняття план розкрою. Під планом розкрою будемо розуміти набір схем розкрою із згенерованих схем розкрою, які забезпечують комплектний вихід в плоских геометричних об'єктів та мінімізують відходи при розкрої матеріалу.

Підзадача «Комплект». Із множини допустимих схем розкрою \hat{S}_{kr} вибрати таку підмножину схем \hat{S}_{kr}^* , комбінація яких утворить план розкрою, в якому буде врахований комплектний вихід плоских геометричних об'єктів та використання матеріалу буде максимальним.

Математична постановка підзадачі «Комплект».

Аналітичне представлення вимог комплектного виходу. Аналітичне представлення вимог комплектного виходу має вигляд

$$N_j - \chi \leq \sum_{i=1}^r A_{ij} \cdot x_i \leq N_j, \quad j=1,2..q,$$

де q – кількість видів плоских геометричних об'єктів S_j , для яких будується план розкрою, N_j – потреба в плоскому геометричному об'єкті S_j , A_{ij} – кількість плоских геометричних об'єктів S_j в i -ій схемі розкрою, X_i – кількість i -их схем розкрою в плані розкрою, χ – допустиме відхилення від комплектного виходу.

Множина допустимих розв'язків задачі. Множиною допустимих розв'язків задачі „Комплект” будуть підмножини секцій із множини згенерованих секцій \hat{S}_i , для яких

$$N_j - \chi \leq \sum_{i=1}^r A_{ij} \cdot x_i \leq N_j, \quad j=1,2..q.$$

Функція цілі. Функція цілі для задачі «Комплект» має наступний аналітичний вигляд:

$$L=f(X_i, S_j, N_j, D_{mat}, H_{mat}) = \sum_{i=1}^r X_i \cdot D_{mat} \cdot H_{mat} - \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^r X_{ij} \cdot |S_j| \cdot A_{ij} \rightarrow \min,$$

де S_{mat} та H_{mat} – габаритні розміри прямокутної області; $|S_j|$ – площа плоского геометричного об'єкту $S_j, j=1,2..q$ та $i=1,2..r$.

Це задача цілочислового програмування великого розміру. Так як кількість допустимих схем розкрою досягає понад 10 тисяч, то ефективних точних методів розв'язання цієї задачі на цей час не існує. Для розв'язку цієї задачі спеціально розроблений евристичний метод. Цей метод закладається в наступному:

1. Відсортуюмо згенеровані схеми розкрою за спаданням щільності розміщення деталей у них.
2. Перебираючи схеми розкрою з допустимою ефективністю розраховуємо для кожної розкрійної схеми її кількість в плані розкрою.
3. Після додавання кожної розкрійної схеми до плану розкрою також розраховуємо і залишок деталей.
4. Процес перебору розкрійної схеми продовжуємо до того часу, поки не буде задоволена потреба у деталях або не будуть перебрані всі допустимі схеми розкрою.
5. Визначаємо щільність розміщення плоских геометричних об'єктів P_{plan} у отриманому плані розкрою та запам'ятовуємо схеми розкрою, що ввійшли у план розкрою та кількість кожної із цих схем.
6. Серед відсортованих секцій міняємо першу і другу схеми розкрою місцями і весь попередній процес (пункти 2-5) побудови плану розкрою повторюємо і т.д..

ВИСНОВКИ

Запропонований метод автоматичного проектування раціональних схем розкрою листових матеріалів для плоских геометричних об'єктів довільної конфігурації зовнішнього контуру дозволив розробити програмне забезпечення для автоматичного проектування схем розкрою.

Цей програмний продукт можна в подальшому після доопрацювання використати для автоматичного

проекування раціональних схем розкрою рулонних матеріалів

Впровадження програмного продукту у виробництво дозволить підвищити продуктивність праці техноло-

га при підготовці схем розкрою та ефективність використання матеріалів та зробить можливим впровадження в розкрійне виробництво автоматизовані розкрійні комплекси.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. Sakanushi K. The quarter-state-sequence floorplan representation / K. Sakanushi, Y/ Kajitani, D.P. Mehta// IEEE Trans. on Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – 2003. – 376 p.
3. 3.Orlov A.N. Kureychik V.V. Mekhanizm kodirovaniya-dekodirovaniya pri reshenii zadachi pryamougol'nogo raskroya-upakovki materiala // Sbornik nauchnykh statey Vserossiyskoy molo-dezhnoy shkoly seminaru «Aktual'nyye problemy informatsionnykh tekhnologiy, elektroniki i radiotekhniki - 2015». – Taganrog: Izd-vo NOTS ZIS KT YUFU, 2015. – S. 420-428.
4. Kolisko O.Z. Modifikatsiya genetichnogo algoritmu dlya generatsii' sektsiy rozkryinnykh skhem / O. Z. Kolisko // Visnik KNUTD. – 2009. – №1. – S. 14-17.
5. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M., Sorokoletov P.V. Bioinspirirovannyye metody v optimizatsii. – M.: Fizmatlit, 2009. – 384 s.
6. Gladkov L.A. Kureychik V.V., Kureychik V.M. Geneticheskiye algoritmy. – M.: Fizmatlit, 2010. – 368 s.
7. Sherwani N.A. Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Third Edition, Kluwer Academic Publisher, USA, 2013., 338 p.
8. Kureychik V.V., Kureychik V.I. Bioinspirirovannyi poisk pri proyektirovanii i upravlenii // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki. – 2012. – № 11 (136). – S. 178-183.
9. Zhang D.F. An improved heuristic recursive strategy based on genetic algorithm for the strip rectangular packing problem/ D.F. Zhang, C.D.Chen, Y.I. Lin // Acta Automatica Sinica. – 2007. – №33(9). – P. 911-916
10. Chuprynka V.I. Method of construction of lattice tilings 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
11. Chuprinka V.Í. Avtomatizovane proyektuvannya ratsional'nykh skhem rozkroyu rulonnikh materialiv na detalí vzuttya / V.Í. Chuprinka, V.S. Murzhenko, A.V. Pinchuk, // Visnik Skhidnoukraïns'kogo natsional'nogo univ'ersitetu ímení Volodimira Dalya. – 2013. – №15 (204). Chastina Í. – S. 243–249
12. Il'in V.A. Analiticheskaya geometriya/ V.A. Il'in, E.G. Poznyak. – M.:Izdatel'stvo "Nauka", Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1975, – 243 s.

*Рецензент: д.т.н., проф. Рудакова Г.В.
Херсонський національний технічний університет*