

УДК 004.02

А. П. Пономаренко

здобувач, Хмельницького національного університету

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗМІЩЕННЯ ПЛОСКИХ ВЗАЄМНО ОРІЄНТОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ В ЗАДАНИХ ОБЛАСТЯХ

Анотація: розглядаються передумови (шляхи, процеси, принципи, граничні умови) для створення математичної моделі задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях в галузі будівництва та архітектури. Запропоновано рішення для створення прототипу інформаційної технології на основі описаної концепції математичної моделі.

Ключові слова: математична модель, інформаційна технологія, пряма задача, зворотна задача, плоскі взаємно орієнтовані об'єкти.

Вступ

Інформаційні технології моделювання процесів розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях перспективні для використання в різних галузях народного господарства, в тому числі в галузі архітектури та дизайну. Ці процеси за своєю суттю відносяться до проблеми оптимізаційного геометричного моделювання (задачі розкрою-упаковки) та повинні забезпечувати раціональне розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів (з врахуванням технічних та технологічних особливостей) на заданих областях розташування.

Прикладом використання вказаних процесів в галузі будівництва, архітектури та дизайну може бути етап забезпечення та реалізації процесів оздоблення.

При вирішенні завдань архітектурного дизайну кінцевою задачею розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях є повне покриття площини розташування геометричними фігурами в заданій послідовності, з заданими параметрами розміщення, виключаючи від'ємні області заданих площин. Під поняттям «від'ємна область» або «площа заборони» розуміється ділянка площини, що входить до складу площини розташування та не підлягає покриттю геометричними фігурами.

Попередніми дослідженнями [1] розглянуто найбільш поширені задачі розкрою-упаковки та їх математичні моделі в частині відповідності задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях для галузі будівництва та архітектури та визнано, що розглянуті математичні моделі задач розкрою-упаковки не можуть бути використані для розміщення

плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях в галузі будівництва та архітектури для застосування при створенні архітектурно-дизайнерських рішень. Згідно з проведеними дослідженнями [1-5] на сьогодні відсутні відповідні інформаційні технології по вирішенню даної задачі стосовно галузі будівництва та архітектури.

Таким чином, створення математичної моделі задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях та розробка відповідної інформаційної технології моделювання вказаної задачі є актуальним.

Постановка завдання

Метою даної публікації є визначення передумов (шляхів, процесів, принципів, граничних умов і т.п.) для створення математичної моделі задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях для подальшої розробки відповідної інформаційної технології.

Для створення математичної моделі задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях необхідно вирішити наступні завдання:

- визначення вхідних даних та граничних умов;
- формалізація оптимізаційної задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів на заданих площинах.
- створення концепції математичної моделі та методів розв'язку даної задачі.

Даною роботою передбачається розробка базової моделі інформаційної технології з врахуванням деяких обмежень. При цьому при розгляді базової моделі за основу приймаємо найбільш простий варіант площини розташування (прямокутна форма) без від'ємних областей.

В подальшому створена концепція математичної моделі інформаційної технології може бути поетапно модернізована від простого варіанту до більш складних варіантів розташування в частині зняття обмежень, в тому числі:

- на форму та розташування елементів оздоблення;
- на форму площин розташування;
- на наявність від'ємних площин;
- на форму та розташування від'ємних площин.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення поставлених завдань розглянемо більш детально особливості задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів на заданих площинах в галузі будівництва та архітектури для застосування в процесі створення архітектурно-дизайнерських рішень (етап забезпечення та реалізації процесів оздоблення).

Розглянемо варіанти проектування дизайнерських рішень в залежності від стану об'єкта архітектури:

а) Об'єкт архітектури існуючий, виконується задача розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів на заданих площинах без можливості змін параметрів заданих площин (пряма задача).

б) Об'єкт архітектури проєктований, виконується задача розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів на заданих площинах з можливістю змін параметрів заданих площин (зворотна задача).

Функціональні особливості прямої та зворотної задач:

а) Пряма задача

Маючи фіксовані конструктивні параметри архітектурних рішень (заданих площин), виконується процес генерації дизайнерських рішень з врахуванням заданих вхідних даних.

б) Зворотна задача

При проєктуванні нових об'єктів, маючи попередні конструктивні параметри архітектурних рішень (заданих площин), виконується процес генерації дизайнерського рішення з врахуванням заданих вхідних даних. Згідно дизайнерських рішень в частині оптимізації розташування матеріалу оздоблення вносяться необхідні зміни в конструктивні параметри архітектурних рішень. Вказана задача може бути реалізована при проєктуванні об'єктів будівництва та архітектури за допомогою систем на основі BIM.

Примітка: Система BIM забезпечує паралельне проєктування різних частин проєктованого будівельного об'єкта, тому при зміні параметрів в одній частині проєкту (дизайнерське рішення) відбуваються зміни в інших частинах проєкту (архітектурні рішення і т.п.) для забезпечення економічної ефективності прийнятих рішень.

Зворотна задача забезпечує найбільшу ефективність використання оздоблювального матеріалу з метою мінімізацію відходів.

На рисунку 1 наведено спрощений приклад розміщення оздоблювального матеріалу (керамічна плитка) на основі прямої задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів на заданих площинах.

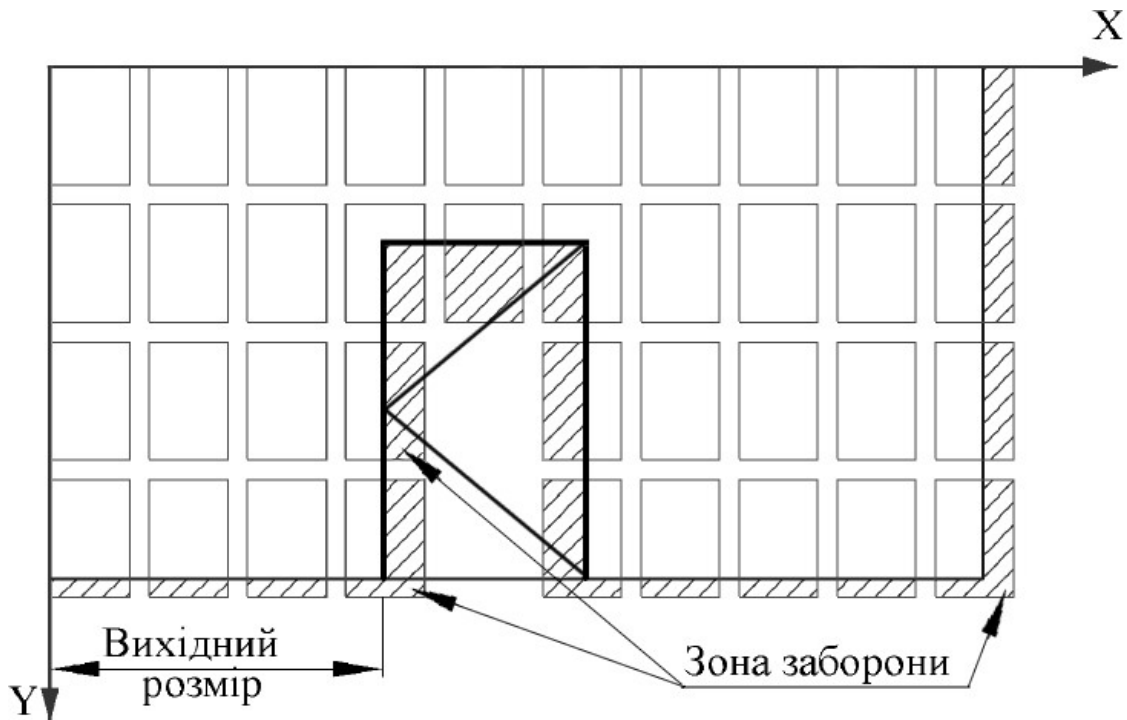


Рис. 1. Пряма задача розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів

На рисунку 2 наведено спрощений приклад розміщення оздоблювального матеріалу (керамічна плитка) на основі зворотної задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів на заданих площинах.

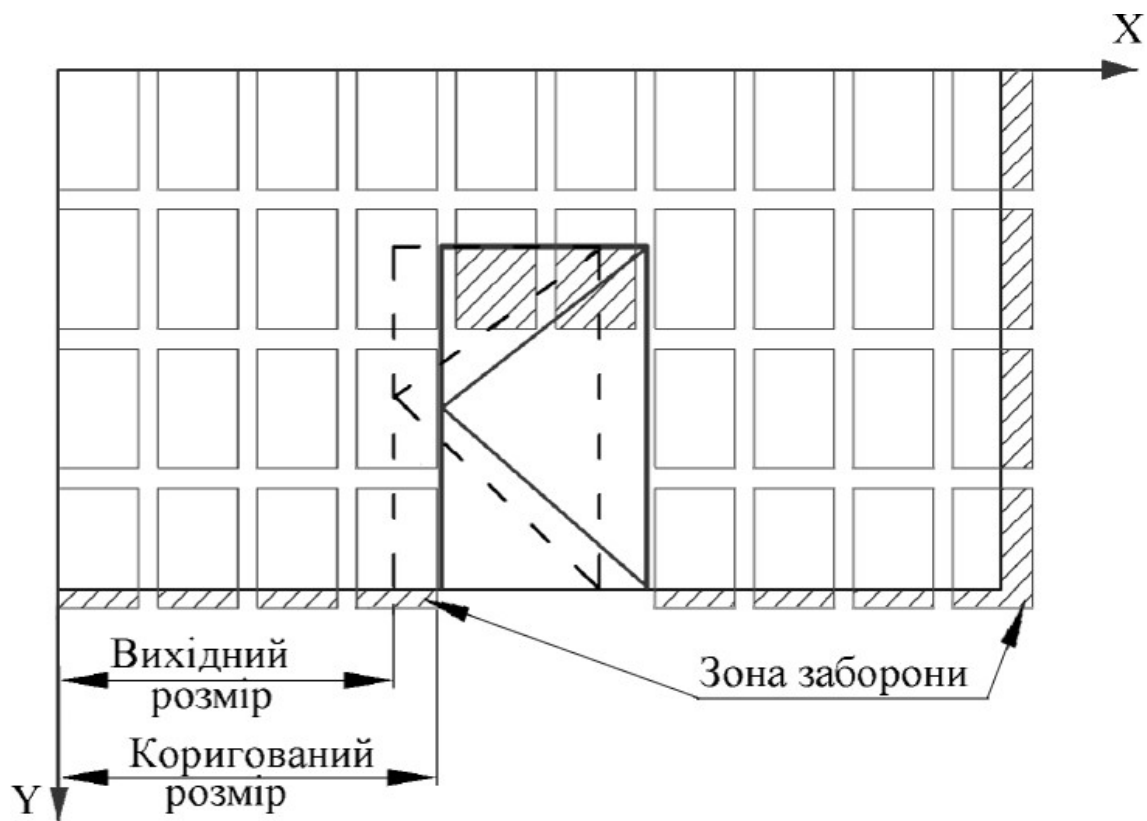


Рис. 2. Зворотна задача розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів

Співставивши візуально кількість оздоблювального матеріалу в зонах заборони на рисунках 1,2 можна зробити висновок, що зворотна задача забезпечує більш економічну ефективність використання оздоблювального матеріалу.

На основі вищерозглянутих особливостей постановки завдання прийнято за основу структуру прямої задачі.

Для вирішення задач розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів на заданих площинах необхідні наступні вхідні дані:

1) Архітектурні рішення заданих площин розташування (розміри та форма площини та від'ємних областей (вікна, двері, інші отвори), їх розташування відносно базових координат) .

2) Технологічні особливості площин розташування (природні та виробничі умови експлуатації: температурно-вологісний режим, вимоги до покриття і т.д.).

3) Технічні та технологічні особливостей матеріалу оздоблення (розмір та умови застосування: зовнішні, внутрішні, кислотостійкість і т.п.).

У завданнях на параметри розміщення об'єктів в загальному випадку можуть накладатися різного роду обмеження. Такими обмеженнями можуть бути задані відстані між розміщеними об'єктами (величина шва), між розміщеними об'єктами і межею області, в якій вони розміщуються і т.п..

Аналітичний опис завдання на розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів на заданих площинах(в заданих областях) може включати в себе наступні вимоги (граничні умови):

1. Умови, при яких об'єкти розміщення повинні перебувати на заданій відстані один від одного " t_x, t_y " (умови взаємного не перетину об'єктів).

2. Умови розміщення об'єктів в заданій області (між об'єктами розміщення і межею області витримуються задані відстані " $m_x^1, m_x^2, m_y^1, m_y^2$ ").

Примітка: Умови розміщення залежать від виду об'єкта розміщення, конструктивних особливостей площини розташування та технологічної підготовки площини розташування під матеріал оздоблення (технологічний запас).

3. Умови накладання об'єктів на площі заборони (результатом виконання робіт повинна бути мінімально можлива величина заповнення об'єктом накладання зони заборони).

4. Інші умови (при необхідності)

Примітка: Під поняттям «від'ємна область» або «площа заборони» розуміється ділянка площини, яка не підлягає покриттю геометричними фігурами.

Для формалізації оптимізаційної задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів (далі – ПВОО) на заданих площинах необхідні наступні вхідні дані:

- координати точки відліку (X, Y) ,
- розміри площини розташування (L, H) ,
- координати та розміри від'ємних областей,
- розміри ПВОО (об'єкт розміщення) (a, b) ,
- граничні умови $(m_x^1, m_x^2, m_y^1, m_y^2, t_x, t_y)$.
- інші умови при необхідності.

Кінцевим результатом розміщення ПВОО в заданих областях є повне покриття площини розташування елементами оздоблення в заданій послідовності, з заданими параметрами розміщення, виключаючи від'ємні області заданих площин, при цьому забезпечуючи мінімально можливу кількість відходів оздоблювальних матеріалів.

Послідовності дій по перетворюванню початкових даних в кінцевий результат передбачається проводити на основі розробленої базової структури інформаційної технології, що представлена на рисунку 3.

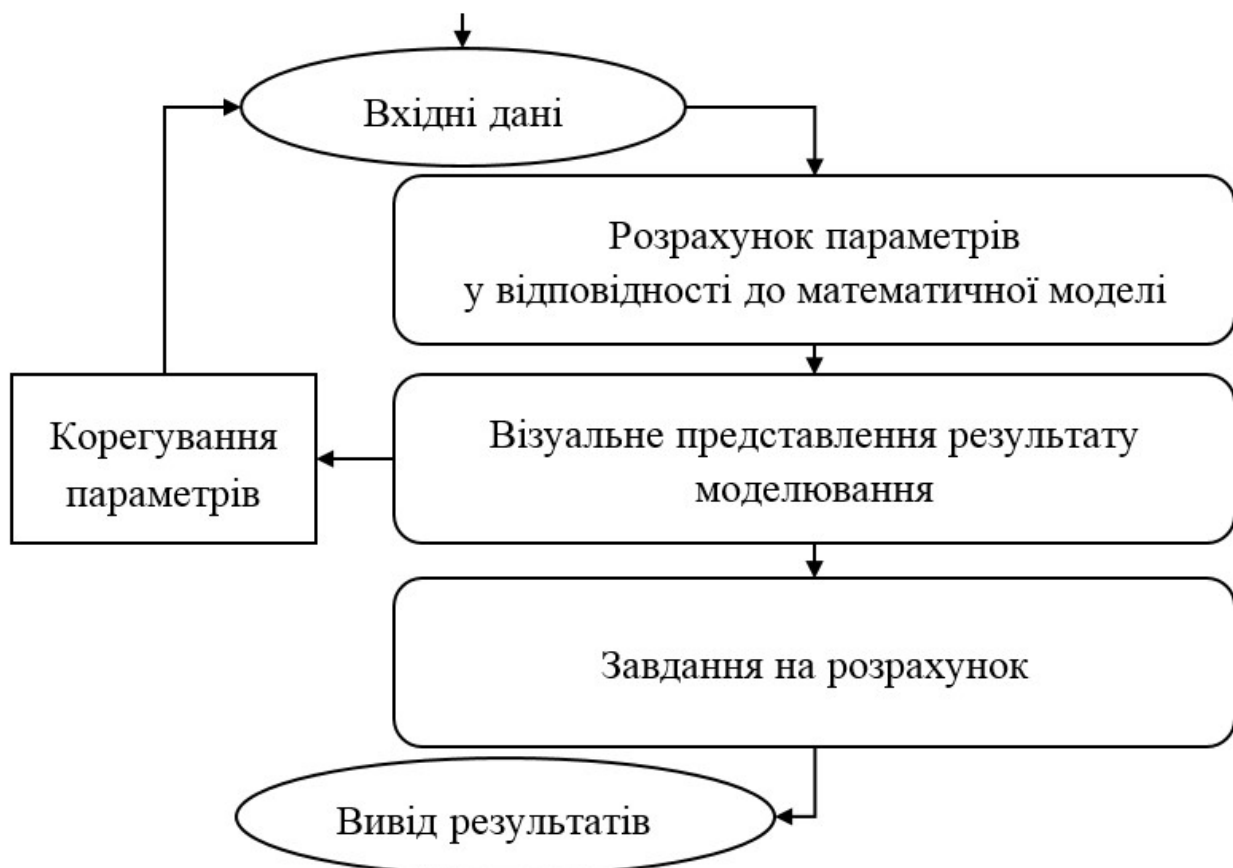


Рис.3. Базова структура інформаційної технології

З врахуванням базової структури інформаційної технології розглянемо наступне оптимізаційне завдання.

Нехай є прямокутні об'єкти розміщення n_{ij} , де $i = \overline{1, I}$, ($I = 2, \dots$), $j = \overline{1, J}$, ($J = 2, \dots$) та прямокутна площа розташування P .

Метричні характеристики об'єкта розміщення незмінні (a, b) , сторони прямокутних об'єктів розміщення паралельні координатним осям.

Розмір площини розташування P :

- по осі X – приймається L (довжина площини розташування),
- по осі Y – приймається H (висота площини розташування).

Початкове положення (найближча точка до початку координат, з якої проводиться розташування ПВОО) об'єктів n_{ij} задається параметрами розміщення:

$$x_0 = m_x^1, \quad y_0 = m_y^1,$$

де $m_x^1 (m_y^1), m_x^2 (m_y^2)$ – відстані від границь площини розташування P по осі $X(Y)$ до межі області розташування (технологічний запас).

Робоча площа розташування ($P_{\text{роб}}$) – це частина площини розташування P , яка безпосередньо підлягає оздобленню ПВОО, при цьому параметри робочої площини розташування $P_{\text{роб}}$:

Робоча довжина площини розташування по осі X

$$L_{\text{роб}} = L - (m_x^1 + m_x^2). \quad (1)$$

Робоча висота площини розташування по осі Y

$$H_{\text{роб}} = H - (m_y^1 + m_y^2). \quad (2)$$

Вищенаведені параметри площин розташування представлені на рисунку 4.

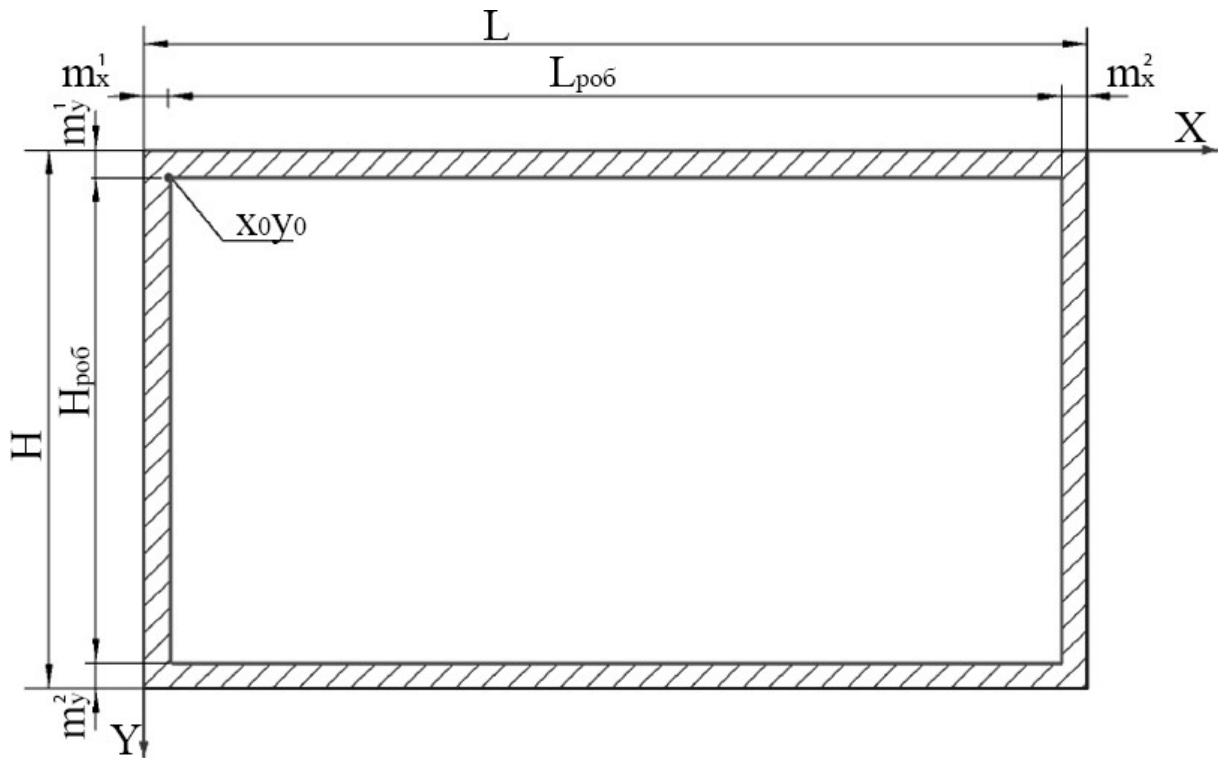


Рис.4. Параметри площин розташування

Метричні характеристики (параметри) об'єктів розміщення:

Позначення об'єкта розміщення – n_{ij} ,

де i – номер об'єкта розміщення по осі Y ,

j – номер об'єкта розміщення по осі X .

a – розмір об'єкта розміщення по осі X (задається в технічних параметрах об'єкта розміщення).

При цьому Δa – розмір мінімально можливої частини об'єкта розміщення по осі X , що може бути розташований у робочій області (приймається в залежності від технічних даних об'єкта розміщення)

$$\Delta a = \frac{a}{\alpha}, \alpha \sim 5 \dots 20.$$

b – розмір об'єкта розміщення по осі Y (задається в технічних параметрах об'єкта розміщення).

При цьому Δb – розмір мінімально можливої частини об'єкта розміщення по осі Y , що може бути розташований у робочій області (приймається в залежності від технічних даних об'єкта розміщення)

$$\Delta b = \frac{b}{\beta}, \beta \sim 5 \dots 20.$$

$t_x(t_y)$ – відстань між об'єктами розміщення по горизонталі (X) та вертикалі (Y) визначається в залежності від технічних характеристик об'єкта розміщення.

Вищенаведені метричні характеристики (параметри) об'єктів розміщення представлені на рисунку 5.

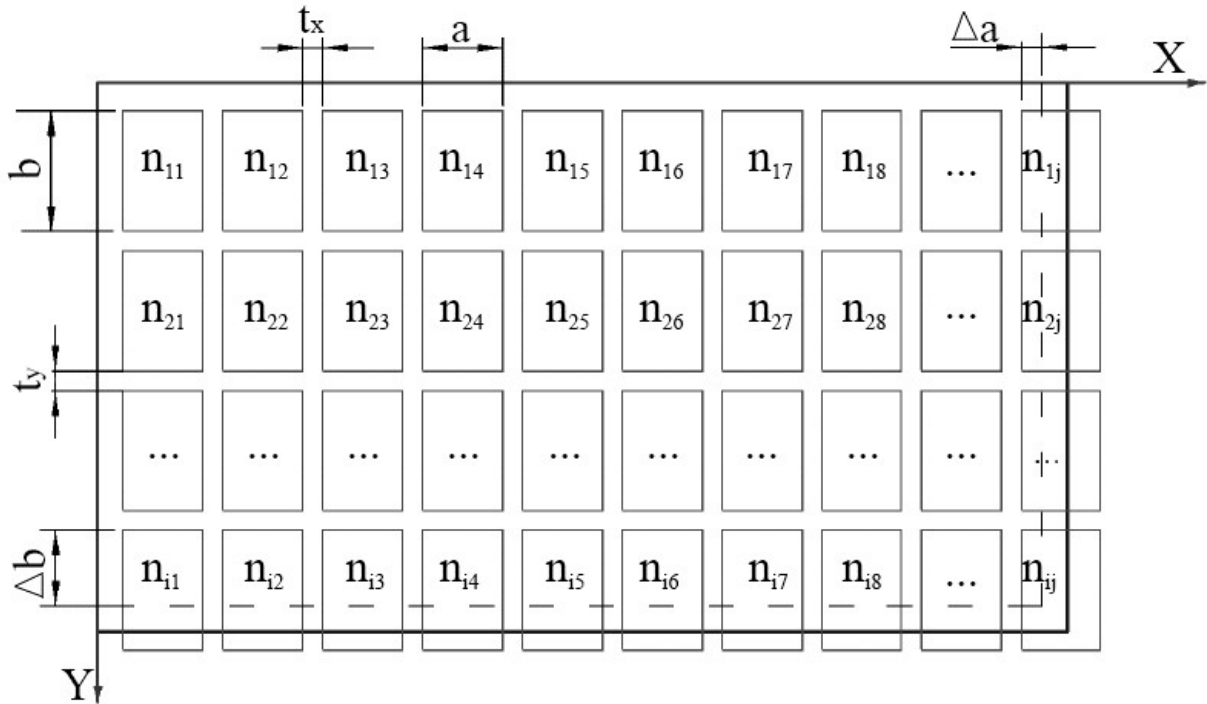


Рис. 5. Метричні характеристики об'єктів розміщення

Розрахункові дані:

Розрахункова кількість об'єктів розміщення в одному ряді по осі X

$$n_x^* = \frac{L_{\text{роб}} + t_x}{a + t_x}. \quad (3)$$

Прийнята кількість об'єктів розміщення в одному ряді по осі X

$$n_x = \begin{cases} \text{int}(n_x^*), & \text{при } \text{frac}(n_x^*) < \frac{\Delta a}{a}, \\ \text{int}(n_x^*) + 1, & \text{при } \text{frac}(n_x^*) \geq \frac{\Delta a}{a}. \end{cases} \quad (4)$$

де $\text{frac}(n_x^*)$ – дробова частина дійсного числа n_x^* ,
 $\text{int}(n_x^*)$ – ціла частина дійсного числа n_x^* .

Кількість об'єктів розміщення в одному ряді по осі Y

$$n_y^* = \frac{H_{\text{роб}} + t_y}{b + t_y}. \quad (5)$$

Прийнята кількість об'єктів розміщення в одному ряді по осі Y

$$n_y = \begin{cases} \text{int}(n_y^*), & \text{при } \text{frac}(n_y^*) < \frac{\Delta b}{b}, \\ \text{int}(n_y^*) + 1, & \text{при } \text{frac}(n_y^*) \geq \frac{\Delta b}{b}. \end{cases} \quad (6)$$

де $\text{frac}(n_y^*)$ – дробова частина дійсного числа n_y^* ,
 $\text{int}(n_y^*)$ – ціла частина дійсного числа n_y^* .

Множина об'єктів розміщення

$$N = \left\{ \left\{ n_{ij} \right\}_{i=1}^{n_x} \right\}_{j=1}^{n_y}, \quad (7)$$

потужність множини:

$$|N| = n_x \cdot n_y. \quad (8)$$

Фактична площа розташування ($P_{\text{факт}}$) – це площа розташування, на якій розміщуються розрахункова кількість цілих ПВОО, з наступними параметрами:

Фактична довжина площини розташування ($L_{\text{факт}}$) по осі X , що включає в себе цілі об'єкти розміщення, забезпечуючи покриття площини розташування по осі X , з можливим частковим виходом за межі робочої площини.

$$\begin{aligned} L_{\text{роб}} &\leq L_{\text{факт}} \\ L_{\text{факт}} &= n_x \cdot a + (n_x - 1)t_x. \end{aligned} \quad (9)$$

Фактична висота площини розташування ($H_{\text{факт}}$) по осі Y , що включає в себе цілі об'єкти розміщення, забезпечуючи покриття площини розташування по осі Y , з можливим частковим виходом за межі робочої площини.

$$\begin{aligned} H_{\text{роб}} &\leq H_{\text{факт}} \\ H_{\text{факт}} &= n_y \cdot b + (n_y - 1)t_y. \end{aligned} \quad (10)$$

Визначаємо параметри відходів об'єктів розташування:

- по осі X: $\Delta L = L_{\text{факт}} - L_{\text{роб}}$,
- по осі Y: $\Delta H = H_{\text{факт}} - H_{\text{роб}}$.

Розрахунок відходів проведено наступним чином:

$$s = (s_x + s_y) - s^*, \quad (11)$$

де s_x – площа відходів по осі X

$$s_x = b \cdot n_y \cdot |L_{\text{факт}} - L_{\text{роб}}| = b \cdot n_y \cdot |\Delta L|, \quad (12)$$

s_y – площа відходів по осі Y

$$s_y = a \cdot n_x \cdot |H_{\text{факт}} - H_{\text{роб}}| = a \cdot n_x \cdot |\Delta H|, \quad (13)$$

s^* – площа подвійного накладання площин відходів

$$s^* = |(L_{\text{факт}} - L_{\text{роб}}) \cdot (H_{\text{факт}} - H_{\text{роб}})| = |\Delta L \cdot \Delta H|, \quad (14)$$

Звідки остаточно отримуємо:

$$s = s_x + s_y - |\Delta L \cdot \Delta H|. \quad (15)$$

На рисунку 6 наведено схематичний приклад підсумкового результату виконання задачі розміщення ПВОО на заданій площині.

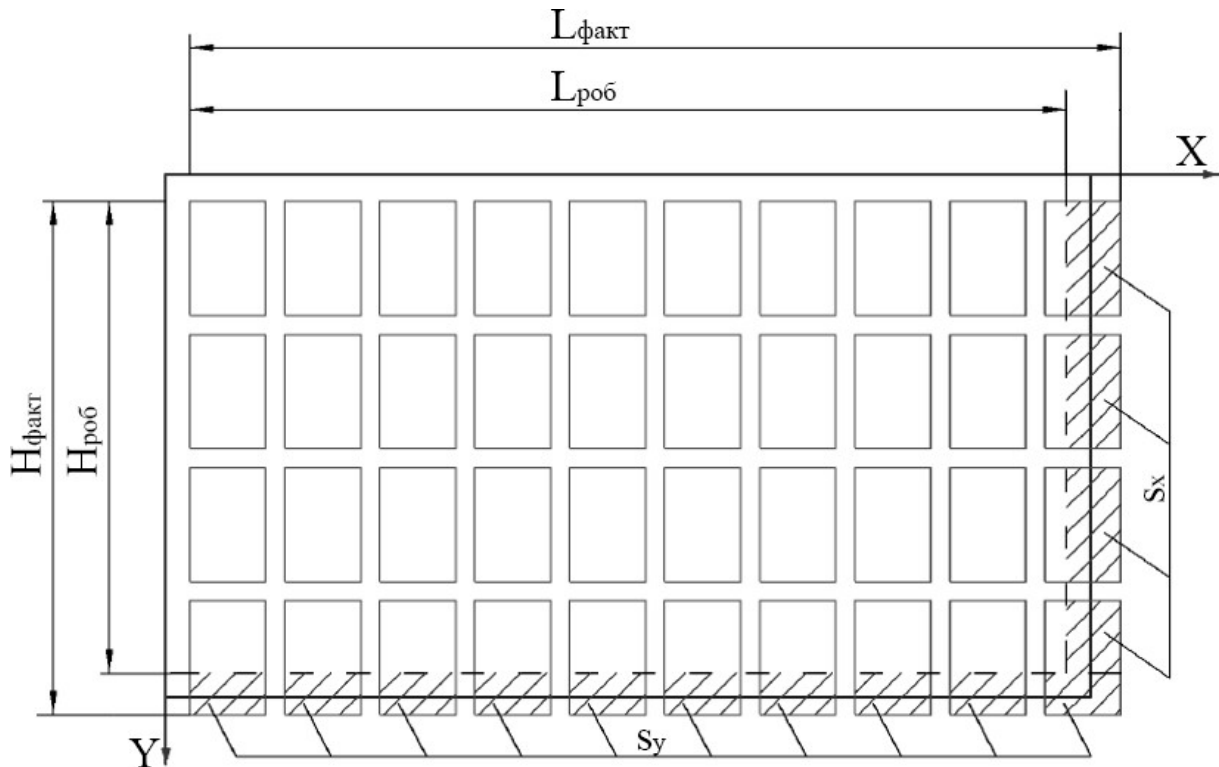


Рис. 6. Схематичний приклад підсумкового результату виконання задачі розміщення ПВОО на заданій площині

Таким чином, задача розміщення ПВОО на заданій площині в частині забезпечення мінімально можливої кількості відходів оздоблювальних матеріалів приймає наступний вигляд:

$$s = \min_{t_x, t_y, a, b, \Delta a, \Delta b} s_x(t_x, t_y, a, b, \Delta a, \Delta b) + \min_{t_x, t_y, a, b, \Delta a, \Delta b} s_y(t_x, t_y, a, b, \Delta a, \Delta b) - s^{**}(s_x^*, s_y^*), \quad (2.16)$$

де $t_x, t_y, a, b, \Delta a, \Delta b$ – перелік параметрів, що впливають на величину площі відходів по осям X, Y

$$s_x = s_x(t_x, t_y, a, b, \Delta a, \Delta b),$$

$$s_y = s_y(t_x, t_y, a, b, \Delta a, \Delta b),$$

$t_x^*, t_y^*, a^*, b^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ – перелік визначених оптимальних параметрів
 s_x^* – визначена оптимальна площа відходів по осі X

$$s_x^* = s_x(t_x^*, t_y^*, a^*, b^*, \Delta a^*, \Delta b^*),$$

s_y^* – визначена оптимальна площа відходів по осі Y

$$s_y^* = s_y(t_x^*, t_y^*, a^*, b^*, \Delta a^*, \Delta b^*),$$

s^{**} – визначена оптимальна площа подвійного накладання площин відходів

$$s^{**} = s^{**}(s_x^*, s_y^*).$$

Розроблена базова концепція математичної моделі є основою для створення інформаційної технології розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях в галузі будівництва та архітектури, яка забезпечує економічну ефективність дизайнерських рішень за рахунок мінімізації відходів оздоблювального матеріалу.

Висновки

Отже, проблема оптимізаційного геометричного моделювання в галузі будівництва та архітектури, що розглядається в даній роботі, полягає в необхідності створення інформаційної технології, що суміщає врахування значної кількості факторів впливу та параметрів даних з високим рівнем автоматизації для забезпечення економічної ефективності за рахунок мінімізації відходів оздоблювального матеріалу.

Визначені передумови для створення математичної моделі задачі розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях для подальшої розробки відповідної інформаційної технології.

Запропоновані підходи, що дають можливість створення інформаційної технології на основі розробленої концепції математичного опису з забезпеченням можливості подальшої інтеграції в BIM орієнтовані системи.

Література

1. Пономаренко А. П. Розгляд можливості використання математичних моделей задач розкрою для розміщення плоских взаємно орієнтованих об'єктів в заданих областях [Електронний ресурс] / Анна Петрівна Пономаренко // VII Всеукраїнська науково-практична конференція за міжнародною участю «Інформатика та системні науки». – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://dSPACE.puet.edu.ua/handle/123456789/3009>.

2. Пономаренко А. П. Розробка програмного забезпечення для автоматизації процесів проектування та супроводу облицювальних робіт. // Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2013 / А. П. Пономаренко,

С. С. Ковальчук. – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2013. – С. 284 – 292.

3. Пономаренко А. П. Сучасні обчислювальні системи і комплекси в технологічних процесах будівництва та архітектури / А. П. Пономаренко, С. С. Ковальчук. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – С. 59 – 62.

4. Phooripoom N. Development of tiling automation for custom mosaic design / N. Phooripoom, P. Koomsap // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing / N. Phooripoom, P. Koomsap., 2015. – (An International Journal of Manufacturing, Product and Process Development). – С. 55 – 68.

5. Пономаренко А. П. Композитний метод матричного синтезу дизайнерських рішень забезпечення варіантних моделей типового системного модуля / А. П. Пономаренко, С. С. Ковальчук. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – №6. – С. 184 – 191.

Аннотация

Рассматриваются предпосылки (пути, процессы, принципы, граничные условия) для создания математической модели задачи размещения плоских взаимно ориентированных объектов в заданных областях в сфере строительства и архитектуры. Предложено решение для создания прототипа информационной технологии на основе описанной концепции математической модели.

Ключевые слова: математическая модель, информационная технология, прямая задача, обратная задача, плоские взаимно ориентированные объекты

Abstract

Pre-conditions (ways, processes, principles and boundary conditions) to create a mathematical model of a flat mutually oriented objects' placing task in the field of construction and architecture were studied. The solution for development of information technology prototype on the basis of the described mathematical model was suggested.

Keywords: mathematical model, information technology, direct problem, inverse problem, flat mutually oriented objects