

# СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ З ПЛАНУВАННЯ УКЛАДАННЯ ПЛИТКИ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*У даній роботі розглянуто системний аналіз та розроблення системи підтримки прийняття рішень для планування укладання плитки, включаючи алгоритмічну базу, основні функціональні можливості та технології програмної реалізації. Розроблено гібридну математичну модель на основі Генетичного алгоритму та неперервної релаксації задачі лінійного програмування, середовище аналітичного тестування та інтерактивний вебзастосунок, які дозволяють автоматизувати процес просторової розкладки з урахуванням мінімізації відходів та збереження естетики. Охарактеризовано результати статистичного тестування розроблених алгоритмів та перспективні напрямки подальшого удосконалення даної системи.*

**Ключові слова:** система підтримки рішень, оптимізація укладання плитки, генетичний алгоритм, просторове моделювання, Python, Streamlit.

## **Abstract**

*This work considers the system analysis and development of a decision support system for tile layout planning, including its algorithmic basis, main functional capabilities, and software implementation technologies. A hybrid mathematical model based on a Genetic Algorithm and linear programming relaxation, an analytical testing environment, and an interactive web application have been developed to automate the process of spatial layout, taking into account waste minimization and aesthetic preservation. The results of statistical testing of the developed algorithms and promising directions for further improvement of this web system are described.*

**Keywords:** decision support system, tile layout optimization, genetic algorithm, spatial modeling, Python, Streamlit.

## **Вступ**

Сучасні процеси проектування та виконання ремонтно-будівельних робіт вимагають високої точності розрахунків, мінімізації фінансових витрат та дотримання суворих естетичних стандартів. Однією з актуальних проблем під час планування укладання плитки є конфлікт між економією матеріалу та візуальною якістю розкладки. Існуючі рішення, такі як класичні ручні розрахунки або використання базових «жадібних» алгоритмів, не завжди забезпечують необхідну точність, часто призводячи до появи неліквідних вузьких смужок матеріалу вздовж стін або до надмірного, економічно неприйняттого відсотка відходів.

Для вирішення цієї проблеми пропонується розробка інформаційної системи у вигляді інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, яка дозволить автоматизувати пошук оптимального балансу між фінансовими витратами та технологічними нормами розкрою для приміщень довільної геометрії.

Метою роботи є розробка системи підтримки рішень з планування укладання плитки. Додаток дозволить користувачам зручно задавати параметри приміщень (включаючи нестандартні форми та наявність перешкод), знаходити найкращі варіанти розкладки за допомогою гібридної оптимізації, переглядати інтерактивні креслення та отримувати детальну аналітику відходів. Основними завданнями дослідження є проведення системного аналізу предметної області, розробка гібридної математичної моделі, вибір технологій реалізації, програмне тестування алгоритмів та розробка кінцевого веб-застосунку.

## **Результати дослідження**

За результатами системного аналізу предметної області та недоліків існуючих рішень було визначено ключові потреби користувачів. Це дало змогу сформуванати структуру веб-застосунку, яка

поєднує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс із потужним математичним ядром. Розроблена система підтримки прийняття рішень забезпечує такі ключові функції:

1. **Гнучке налаштування геометрії приміщення** – користувач може швидко обрати типові форми або задати довільний багатокутник за допомогою інтерактивної таблиці координат кутів.
2. **Керування внутрішніми перешкодами** – можливість додавати, масштабувати та позиціонувати отвори, які алгоритм автоматично враховуватиме та обходитиме під час побудови сітки.
3. **Фінансове та матеріальне планування** – користувач може вводити габарити плитки, товщину міжплиткового шва, загальний бюджету проекту та вартість робіт майстра для миттєвої оцінки рентабельності.
4. **Багатокритеріальна оптимізація розкладки** – запуск гібридного алгоритму, який паралельно розраховує три стратегії укладання: «Економну» (максимальне збереження матеріалу), «Естетичну/Безпечну» (уникнення вузьких підрізків менше 5 см) та «Баланс».
5. **Візуалізація та економічна аналітика** – програма здійснює генерацію кольорового інтерактивного креслення плану приміщення, точний підрахунок кількості цілих плит, фрагментів підрізки та розрахунок загального коефіцієнта відходів.
6. **Генерація покровових інструкцій** – програма автоматично формує текстові рекомендації для користувача щодо вибору стартової точки та логіки укладання напрямних рядів.

Розробка програмного комплексу розділена на два взаємопов'язані етапи: попередній системний аналіз та створення кінцевого інтерактивного вебзастосунку.

Аналітичне моделювання, прототипування гібридного алгоритму та його статистичне тестування проводилися в інтерактивному середовищі **Jupyter Notebook** мовою програмування Python [1, 2]. Це середовище дозволило ефективно обробляти великі масиви даних та візуалізувати проміжні результати оптимізації.

Безпосередня розробка системи підтримки прийняття рішень здійснювалася в інтегрованому середовищі розробки **Visual Studio Code**. Для побудови логіки додатку та створення сучасного інтерфейсу без використання класичних вебтехнологій застосовано Python-фреймворк **Streamlit** [3], який також забезпечив швидке розгортання проекту у хмарному середовищі.

Технічна реалізація алгоритмічного ядра базується на таких основних бібліотеках та інструментах:

1. **Shapely** – для обробки двовимірної просторової геометрії, виконання булевих операцій над полігонами, а саме перетини та різниці, що дозволяє системі працювати з приміщеннями довільної форми та обходити внутрішні перешкоди [4].
2. **Matplotlib** – для програмної генерації математичної графіки, візуалізації плану приміщення та створення кольорових інтерактивних креслень розкладки плитки [5].
3. **NumPy** та **Pandas** – для матричних обчислень під час роботи алгоритму просторового пошуку та агрегації статистичних результатів розрахунку відходів матеріалів [1].

Алгоритмічним ядром системи є гібридна математична модель багатокритеріальної оптимізації, яка поєднує стохастичні та детерміновані методи розрахунку (рис. 1).

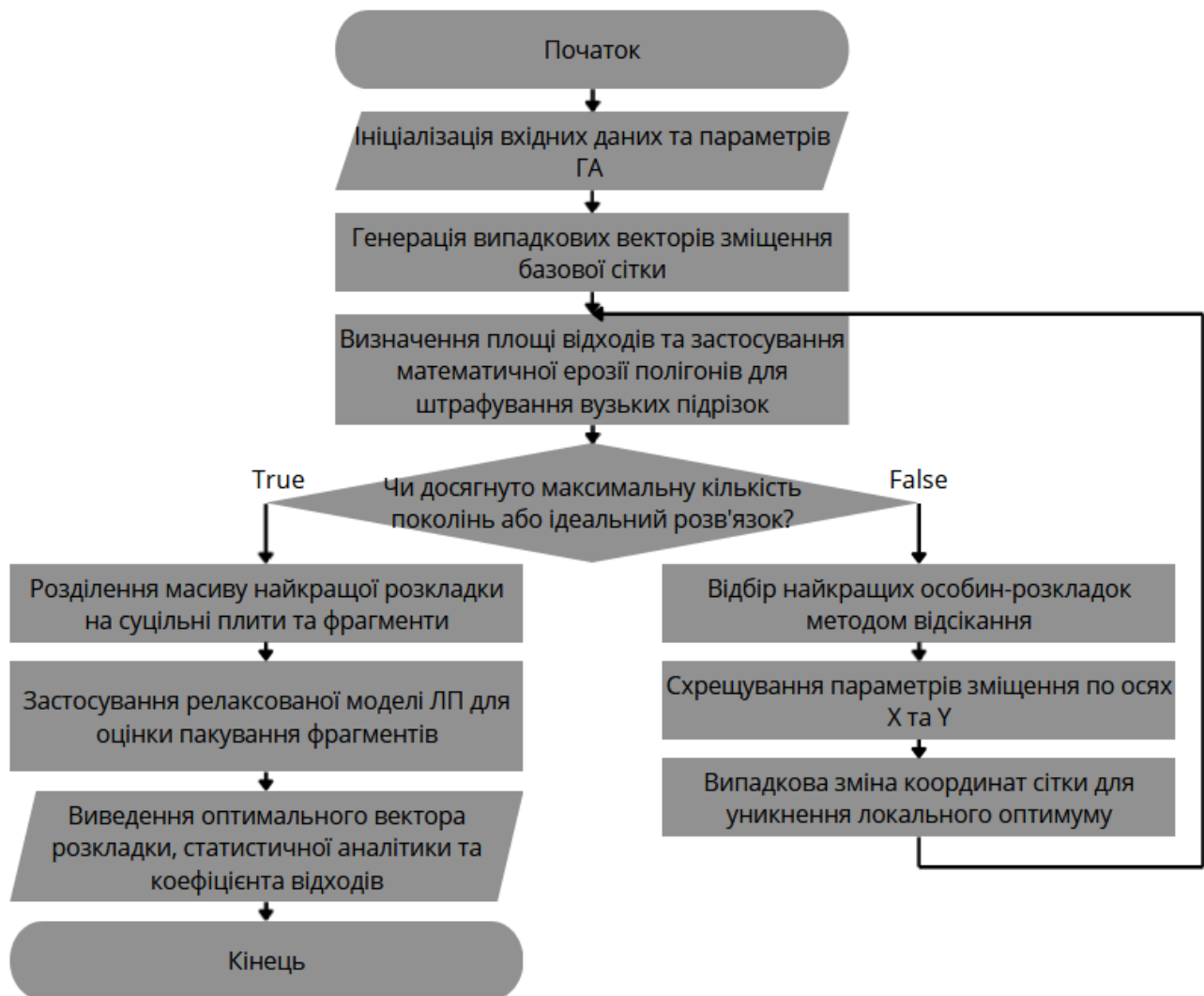


Рисунок 1 – Структурна схема гібридного алгоритму СППР на базі генетичного підходу та апроксимації моделі лінійного програмування

На рисунку 1 відображено етапність обробки даних під час пошуку оптимального розв'язку. На першому етапі система використовує Генетичний алгоритм для просторової оптимізації. Фітнес-функція алгоритму оцінює кожну згенеровану розкладку, застосовуючи метод математичної ерозії полігонів, що дозволяє накладати жорсткі штрафи на розв'язки із вузькими підрізками що є менше 5 см. Після проходження циклу еволюції алгоритм знаходить ідеальну відцентровану розкладку.

Оскільки симетрична розкладка може збільшувати площу обрізків, на другому етапі застосовується детермінований алгоритм на основі неперервної релаксації моделі лінійного програмування. СППР консолідує математичну площу всіх зрізаних фрагментів та розраховує їхнє оптимальне пакування на мінімальній кількості нових плит з урахуванням компенсаційного коефіцієнта технологічних втрат. Дослідження та верифікація збіжності даного алгоритму проводилися за допомогою статистичного моделювання методом Монте-Карло.

Для забезпечення зручної взаємодії особи що приймає рішення з аналітичним ядром моделі, розроблено клієнтський інтерфейс (рис. 2).

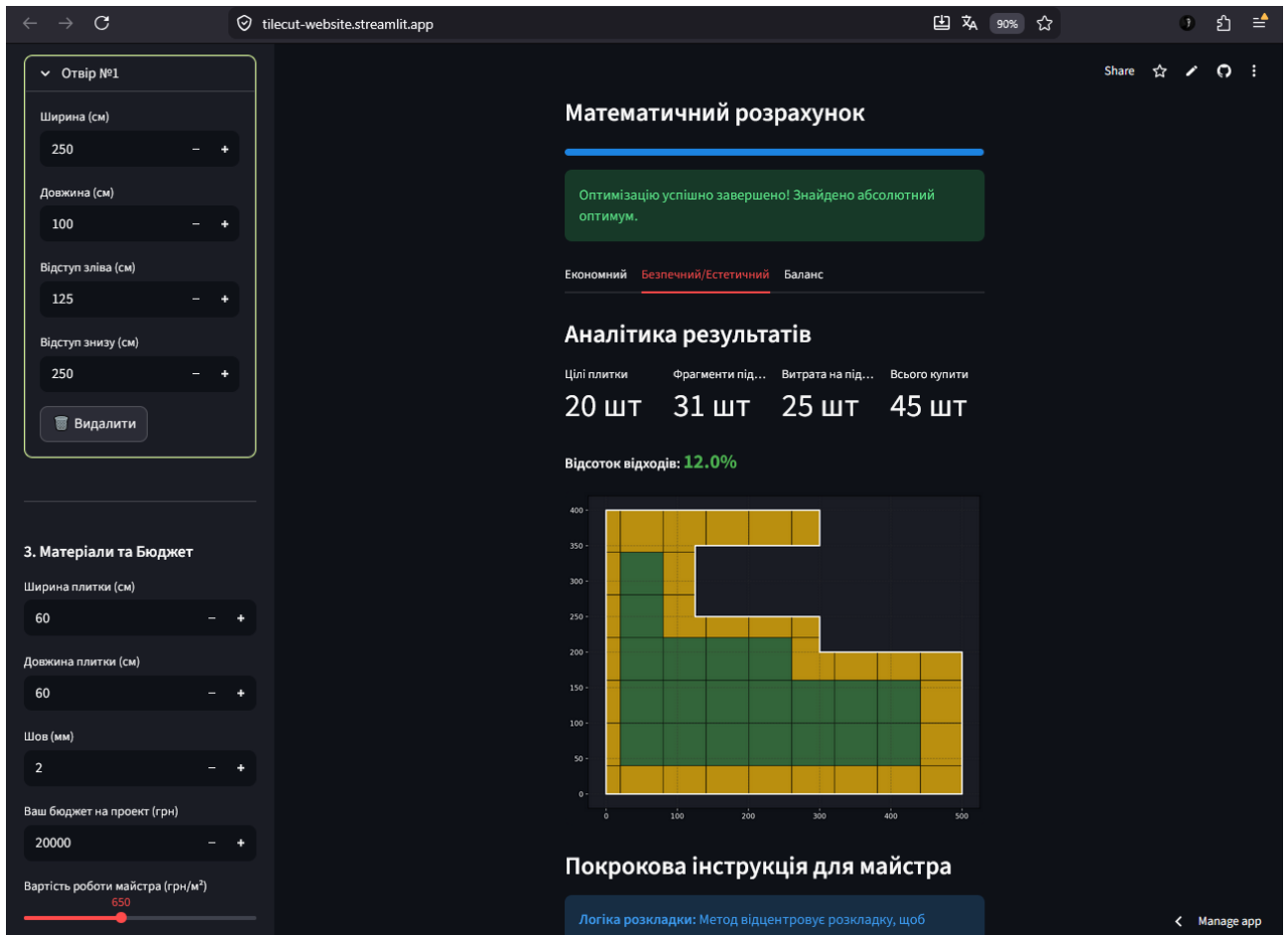


Рисунок 2 – Інтерфейс клієнтської частини СППР з візуалізацією результатів гібридної оптимізації.

Інтерфейс (рис. 2) забезпечує миттєвий зворотний зв'язок відображаючи кольорову диференціацію цілих та обрізних плит. Система дозволяє користувачу керувати багатокритеріальними параметрами (пріоритет економії чи естетики) та отримувати візуалізовані результати розрахунків і розширену економіко-статистичну аналітику щодо загального коефіцієнта відходів.

### Висновки

Запропонована система підтримки прийняття рішень успішно розв'язує задачу багатокритеріальної оптимізації двовимірного розкрою матеріалів для багатокутних площин складної топології. Застосування розробленої гібридної математичної моделі, що поєднує методи стохастичного просторового пошуку та апроксимованого лінійного програмування, дозволило знайти оптимальний компроміс між естетичними вимогами та фінансовими витратами. Статистичне тестування моделі довело її високу ефективність: алгоритм дозволив знизити медіанний показник відходів матеріалу до 3,5%. Впровадження цієї СППР забезпечує користувачів потужним аналітичним інструментом.

Подальший розвиток системи у контексті системного аналізу може включати розширення математичного апарату для підтримки непрямокутних форматів матеріалу та розрахунку векторів діагональної розкладки. З точки зору програмної архітектури, перспективним напрямком є перехід від монолітної структури до повноцінного розподіленого клієнт-серверного рішення. Це дозволить замінити базовий візуалізатор на професійний інтерактивний CAD-редактор, а також інтегрувати алгоритми комп'ютерного зору для автоматичного розпізнавання будівельних креслень та безпосереднього імпорту геометричних даних в аналітичне ядро системи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Наука про дані: машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережевого) використання [Електронний ресурс] / В. Б. Мокін, М. В. Дратованій – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 258 с.
2. Machine learning: starter course : навчальний посібник [Електронний ресурс] / S. D. Shtovba, O. M. Kozachko – Vinnytsia : VNTU, 2020. – 81 p.
3. Streamlit Documentation. The fastest way to build and share data apps. 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.streamlit.io/>
4. Shapely User Manual. Manipulation and analysis of geometric objects in the Cartesian plane. 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://shapely.readthedocs.io/>
5. Matplotlib: Visualization with Python. 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://matplotlib.org/>

**Якубишин Костянтин Олександрович** – студент групи СА-22б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [kostyayakbshn@gmail.com](mailto:kostyayakbshn@gmail.com)

**Олексій Миколайович Козачко** – к.т.н., доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [lekoz80@gmail.com](mailto:lekoz80@gmail.com)

**Yakubyshyn Kostiantyn O.** – student of group SA-22b, Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [kostyayakbshn@gmail.com](mailto:kostyayakbshn@gmail.com)

**Kozachko Oleksii M.** – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of System Analysis and Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [lekoz80@gmail.com](mailto:lekoz80@gmail.com)