Список посилань

1. Antonenko, Y., Kovalov, V., Vasylchenko, Y., Shapovalov, M., Malyhin, N. (2023). An Increase in Heavy Machines' Accuracy by Controlling the Carrier System Parameters. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_8

УДК 519.85

Володько М.Ю., аспірантка
Киричок Т.Ю., докт. техн. наук, професор
Клименко Т.Є., канд. техн. наук, доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, volmarisha2@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ 3D ЕЛЕМЕНТІВ ДРУКОВАНОЇ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ FDM

У сучасному поліграфічному виробництві оптимізація процесу адитивного друку з використанням FDM-технології має важливе значення, адже урахування технологічних обмежень впливає не лише на вагу 3D елементів друкованої поліграфічної продукції, витрати матеріалу та міцність, а й на час їх виготовлення через забезпечення максимальної щільності їх розміщення на платформі 3D обладнання [1-3].

Завдяки побудованій математичній моделі розміщення довільних тривимірних елементів поліграфічної продукції на платформі 3D обладнання та алгоритму розв'язання цієї задачі на основі поетапного пошуку локального та глобального екстремуму з використанням методу нелінійного програмування, а саме: мови Python та методу SLSQP запропоновано оптимальне пакування моделей на платформі 3D обладнання з мінімізацією його висоти, що сприяє зменшенню кількості шарів, необхідних для друку.

Тобто множину $P_i, i \in I = \{1,2,\dots,n\}$ довільних за формою 3D елементів поліграфічної продукції розміщено у прямокутному контейнері, параметризованому змінною $\eta = (\eta_1, \eta_2)$, яка визначає висоту контейнера, з метою мінімізувати $H(\eta) = \eta_2 - \eta_1$, тобто висоту пакування, яка є пропорційною до кількості шарів FDM-друку.

Формально, задачу записано у вигляді: $min_{u.\eta}$=$H(\eta)$ *за умов:* $\Phi_{ij}(u_i,u_j) \geq d_{min}, \forall_i < j, \Phi_{ij}(u_i,\eta) \geq 0, \forall_i \in I$, *де* $u_i \in R^6$ – вектор трансляції та обертання об'єкта $i, \Phi_{i,j}$ – phi-функція для розміщення об'єкта в межах контейнера із врахуванням відстаней до країв.

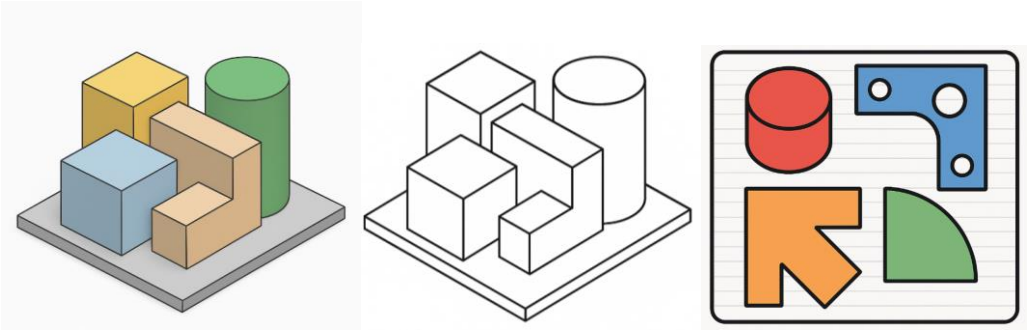
Основна ідея алгоритму полягає в оптимізації координат об'єктів за допомогою методу послідовного квадратичного програмування (SLSQP), що реалізується засобами бібліотеки SciPy. Цільова функція визначає максимальну висоту будь-якого об'єкта у просторі, що фактично відображає висоту всієї конструкції. Для гарантування фізичної коректності розміщення вводяться геометричні обмеження: об'єкти не повинні виходити за межі платформи, а також повинні знаходитись на певній відстані один від одного у всіх трьох координатах (x, y, z).

У лістингу реалізації представлено алгоритм просторової оптимізації розміщення 3D-елементів друкованої поліграфічної продукції на обмеженій платформі. Вхідними даними виступають геометричні параметри кожного елементу (ширина, довжина, висота), розміри платформи (наприклад, 200×200 см), а також фіксована мінімальна допустима відстань між об'єктами, яка гарантує відсутність їх фізичного дотику (наприклад, 1 см).

Метою оптимізації є знаходження таких просторових координат кожного об'єкта (x, y, z), за яких усі елементи: повністю розміщуються в межах платформи; не перекриваються між собою та дотримуються мінімальної відстані; забезпечують мінімально можливу загальну висоту конструкції, тобто висоту найвищої точки серед усіх 3D елементів.

Алгоритм виконує багаторазові ітерації автоматичного коригування координат, доки не буде знайдено оптимальне просторове розташування, що задовольняє всі задані геометричні та логічні обмеження.

На основі моделі реалізовано графічну симуляцію укладання об’єктів, яка демонструє щільне розміщення на платформі FDM-принтера (рис.1).



а) б)

Рис. 1 – Приклади укладання 3D елементів з урахуванням мінімально припустимих відстаней а) тривимірна модель б) 2D модель

Проведено 10 експериментальних досліджень із вивчення впливу вхідних параметрів на ефективність оптимального розміщення 3D елементів, де змінювалась вхідні дані в різних варіаціях, а саме: змінна ширина, довжина, висота 3D елементів зі стабільним розміри платформи; стабільні розміри 3D елементів та платформи при змінній кількості 3D елементів.

Аналіз графіків впливу вхідних параметрів на ефективність оптимального розміщення 3D елементів свідчить, що збільшення кількості 3D елементів не обов’язково призводить до зростання загальної висоти конструкції, за умови раціонального вибору розмірів платформи.

Ключовими факторами, що впливають на результат розміщення, є розмір платформи та мінімально допустима відстань між об'єктами (d_min). Надто тісні обмеження ускладнюють або навіть унеможливлюють компактне компонування, тоді як збільшення доступної площі платформи 3D обладнання сприяє зменшенню висоти контейнера.

Запропонований підхід до оптимізації процесу адитивного друку з використанням FDM-технології дозволяє підвищити ефективність виготовлення 3D елементів друкованої поліграфічної продукції за рахунок одночасного друку максимальної кількості об’єктів з урахуванням технологічних обмежень. Оптимальне пакування моделей на платформі 3D обладнання з мінімізацією його висоти сприяє зменшенню кількості шарів, необхідних для друку, що, своєю чергою, знижує тривалість процесу та фінансові витрати. Отримані результати можуть бути корисними для підвищення продуктивності адитивного виробництва в умовах обмежених ресурсів за FDM-технологією.

Список посилань

1. Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C., & Hague, R. (2016). The cost of additive manufacturing: Machine productivity, economies of scale and technology-push. Technological Forecasting and Social Change, 102, 193–201. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.272

2. Jadhav, A., & Jadhav, V. S. (2022). A review on 3D printing: An additive manufacturing technology. *Materials Today: Proceedings, 62* (Part 4), 2094–2099. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.558

3. Romanova, T., Chuhai, A., Pankratov, O., Yaskov, G., & Stoyan, Y. (2023). Optimization of packing irregular three-dimensional objects. Cybernetics and Computer Technologies, (4), 25–33. https://doi.org/10.34229/2707-451X.23.4.4