

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗКРОЮ ЛИСТОВОГО ПАПЕРУ ДЛЯ ПОТРЕБ ПОЛІГРАФІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Анотація. У статті представлено концепцію, архітектуру та принципи реалізації інформаційного модуля підтримки прийняття рішень (ІМ ППР) для технолога поліграфічного підприємства. Модуль розроблено з метою автоматизації процесів підготовки до друку, вибору оптимальних параметрів розкрою, призначення матеріалів і вибору технологічного маршруту. Запропоноване рішення поєднує математичні моделі, виробничі дані та евристичні правила з практики, що дозволяє зменшити час прийняття рішень та знизити ймовірність помилок.

Ключові слова: підтримка прийняття рішень, поліграфія, технолог, виробниче планування, розкрій, інформаційна система, оптимізація.

Постановка проблеми. Основна тенденція розвитку сучасної поліграфії – інтерактивні друкарні – це застосування інтерактивної взаємодії між споживачем та власником інформації. Відкрита додрукарська система підтримує функції інтерактивного зв'язку з замовником та персоналізування продукції. Умовно технологічний процес додрукарської підготовки видання можна поділити на три основні етапи:

- 1) підготовка та введення інформації у комп'ютерну видавничу систему (автором, видавництвом або друкарнею);
- 2) створення електронного макету видання;
- 3) підготовка (нормалізування файлів, трепінг, спуск сторінок, растровання, отримання проби) та виведення сторінок на матеріальний носій (папір, фотоплівку, формну пластину або циліндр машини).

Впровадження автоматизованих рішень для оптимізації видавничого процесу значно підвищує рівень оперативності додрукарської підготовки, що особливо актуально при підготовці листової продукції (етикеток, рекламних постерів та інш.).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процес розкрою паперу у поліграфічному виробництві є ключовим етапом, що впливає на собівартість продукції, витрати матеріалів та логістику виробництва. Через варіативність замовлень та технологічних обмежень виникає потреба в автоматизованій підтримці прийняття рішень. Інформаційні системи, які поєднують моделі оптимізації та сучасні інтерфейси користувача, можуть значно покращити якість виробничого планування. Ефективним інструментом для оптимізації поліграфічних процесів є математичне моделювання задачі розкрою паперу.

Розкрій паперу — одна з критичних технологічних операцій у поліграфічному виробництві. Неefективний розкрій призводить до перевитрати матеріалу та збільшення виробничих витрат. Задача розкрою має комбінаторний характер і належить до NP-складних задач, що ускладнює її розв'язання для великих обсягів вхідних даних. Використання алгоритмів розміщення з урахуванням виробничих обмежень дозволяє мінімізувати відходи, підвищити продуктивність та забезпечити гнучке планування у типографії.

Задача промислового розкрою паперу для друку листової продукції відноситься до класу завдань двовимірного (2D) прямокутного розкрою. Зважаючи на складність цього завдання широко використовуються евристичні алгоритми рішення. Поява та розвиток імовірнісних методів локального пошуку оптимуму призвело до розробки алгоритмів, які є декодерами в багатопрохідних алгоритмах.

По суті, розміщення прямокутників зводиться до їх укладання, коли вони не мають перетинів. Більшість точних методів рішення зводиться до перебору множини допустимих рішень і знаходження серед них оптимуму.

Для розв'язання задачі можна застосовувати:

- жадібні алгоритми (greedy methods) для швидкого знаходження прийнятних рішень;
- евристичні методи, зокрема генетичні алгоритми, для наближеного пошуку оптимального рішення;
- методи динамічного програмування для випадків з обмеженою кількістю варіантів.

Технолог поліграфічного підприємства відповідає за підготовку виробництва: вибір формату паперу, планування розкрою, визначення технологічних режимів. У сучасних умовах значного потоку замовлень, їхньої варіативності та стислих термінів, виникає потреба в автоматизованій підтримці прийняття рішень (ППР). Інформаційні модулі, інтегровані в загальну систему управління виробництвом, дозволяють оперативно формувати обґрунтовані рішення.

Мета дослідження. Основною метою є створення математичного ядра для інформаційного модуля, який:

- підтримує технолога у виборі схеми розкрою, формату, матеріалу;
- виконує автоматичні розрахунки витрат матеріалів;
- дозволяє оцінювати ефективність різних варіантів планування;
- інтегрується з ERP/MES-системами підприємства.

Викладення основного матеріалу дослідження. Математична постановка задачі двовимірного (2D) прямокутного розкрою формулюється наступним чином.

Нехай задано:

- набір форматів друкованої продукції $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$, кожен з яких має ширину w_i та висоту h_i ;
- наявний стандартний листовий формат паперу $W \times H$;
- обсяги замовлень q_i для кожного формату F_i .

Задача розкрою:

знайти таке розміщення F_i на листах $W \times H$ яке мінімізує:

- загальну кількість використаних аркушів N ,
- сумарну площу відходів $S_{\text{відх}}$.

Тобто

$$\min N, \min S_{\text{відх}} = \sum_{j=1}^N (W \cdot H - \sum_i n_{ji} \cdot w_i \cdot h_i), \quad (1)$$

де n_{ji} - кількість виробів i -го типу на j -му аркуші.

При обмеженнях:

- кожен аркуш не перевищує розміри $W \times H$;
- сумарна кількість виробів i -го типу повинна дорівнювати q_i , або $\sum_j n_{ij} \geq q_i$,

для всіх i ;

- допустиме розміщення без перекриття.

Пропонуємо для розв'язання задачі розкрою (1) застосувати евристичний метод, що відноситься до класу задач про пакування рюкзака або планування рейсів для складських штабелерів з бортовим накопичувачем. Але ці методи вирішують одновимірну задачу пакування. Запропонований метод базується на послідовному розташуванні прямокутників, починаючи з пусого аркушу. Завдяки тому, що друк здійснюється партіями по $Q = 500 - 5000$ листів, відповідно технологічного обладнання, то тираж можна перерахувати відносно цієї величини.

По перш за все необхідно відсортувати всі замовлення на друк із зменшенням значення критерію відбору виду

$$ST_i = S_i g_i, \quad (2)$$

де $S_i = w_i h_i$ - площа i -го формату друкованої продукції; q_i - обсяги замовлень (тираж) для кожного формату F_i , $i=1, \dots, n$.

Другим кроком є визначення номера формату k , який має максимальне значення критерію (2), та розташовуємо першій формат на листі. Для цього необхідно зробити аналіз відносних розмірів для визначення варіанту укладки за формулами

$$W_{wk} = \frac{W}{w_k}, W_{hk} = \frac{W}{h_k}, H_{wk} = \frac{H}{w_k}, H_{hk} = \frac{H}{h_k}. \quad (3)$$

Обраховуємо коефіцієнти для визначення варіантів укладки (горизонтальне (4) або вертикальне (5) розташування) наступним чином

$$k_{w1} = W - w_k \cdot \text{int}(W_{wk}), k_{h1} = H - h_k \cdot \text{int}(H_{hk}), \quad (4)$$

$$k_{w2} = W - h_k \cdot \text{int}(W_{hk}), k_{h2} = H - w_k \cdot \text{int}(H_{wk}), \quad (5)$$

В залежності від значень отриманих коефіцієнтів визначаються геометричні розміри вільних зон листа після розташування першого формату. А саме можливі чотири варіанти мінімальних значень коефіцієнтів:

1) при $k_{w1} = \min$ -

$$W1 := W, H1 := k_{h1};$$

2) при $k_{h1} = \min$ -

$$W1 := k_{w1}, H1 := H;$$

1) при $k_{w2} = \min$ -

$$W1 := W, H1 := k_{h2};$$

1) при $k_{w1} = \min$ -

$$W1 := k_{w2}, H1 := H.$$

$W1$ та $H1$ - нові розміри залишків листа.

Після цього здійснюється корекція списку обсягу замовлень (зменшується з урахуванням розташованого формату). Та дії повторюються за алгоритмом, починаючи з сортуванням оновленого списку.

Якщо на лист, що заповнюється, не можна додати щось зі списку заказів, то він вважається закритим, зберігається у переліку сформованих листів, та відкривається новий лист для подальшого розкрою.

При застосуванні належного математичного апарату в управлінні поліграфічними процесами можна забезпечити гнучке, адаптивне та обґрунтоване прийняття рішень у сфері управління розкром паперу.

Інформаційний модуль підтримки прийняття рішень має значно підвищити ефективність та точність роботи технолога типографії. Надалі планується розширити функціональність системи за рахунок машинного навчання для прогнозування витрат, аналізу попередніх рішень та динамічної адаптації до змін у виробничому середовищі.

Інформаційна СППР має бути побудована за модульним принципом та включати такі основні компоненти:

- База даних: зберігання інформації про доступні формати паперу, замовлення, параметри обладнання.

- Модуль математичного моделювання: реалізація алгоритмів оптимального розміщення друкованих елементів на аркушах.

- Аналітичний модуль: оцінка ефективності розкрою (відсоток використання площі, відходи, кількість аркушів).

- Інтерфейс користувача: візуалізація схеми розкрою, можливість ручного редагування, інтеграція з ERP-системами.

Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію з системами обліку матеріалів, прогнозування потреб та навчання моделей на історичних даних.

Доцільно використати генетичний алгоритм, що дозволить ефективно вирішувати задачу розкрою паперу в умовах варіативного виробництва. Поєднання математичної моделі з еволюційними принципами пошуку забезпечує гнучкість, масштабованість та адаптивність системи оптимізації. У перспективі планується інтеграція алгоритму в інформаційні системи управління виробництвом.

Висновки. Інформаційний модуль підтримки прийняття рішень значно підвищує ефективність та точність роботи технолога типографії. Надалі планується розширити функціональність системи за рахунок машинного навчання для прогнозування витрат, аналізу попередніх рішень та динамічної адаптації до змін у виробничому середовищі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Йордан Г. Основи поліграфії : навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Ганна Йордан ; [за ред. д-ра тех. наук, проф. С. Гавенко]. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2007. – 176 с.
2. Предко Л. С. Проектування до друкарських процесів : навч. посіб. / Л. С. Предко. – Львів : УАД, 2009. – 352 с.
3. Канторович Л. В. Рациональный раскрой промышленных материалов / Л. В. Канторович, В. А. Залгаллер. – Новосибирск: Наука, 1971. – 300 с.
4. Dyckhoff, H. Cutting and Packing in Production and Distributing / H. Dyckhoff, U. Finke. – Heidelberg : Physica Verlag, 1992. – 248 p.
5. Dyckhoff, H. A Typology of cutting and packing problems / H. Dyckhoff // European J. of Operational Research. 1990. Vol. 44. P. 145-159.
6. Diana S. An Improved Genetic Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling Problem / S. Diana, A. K. Pundir. // International Journal of Computer Applications. – 2013. – №78. – pp. 34–39.
7. Hartmann S. A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling / Hartmann. // Naval Research Logistics. – 1998. – №45. – pp. 733–750.

REFERENCES

1. Yordan G. Osnovi poligrafii : navch. posib. [dlya stud. visch. navch. zakl.] / Ganna Yordan ; [za red. d-ra teh. nauk, prof. S. Gavenko]. – Ternopil : Pidruchniki i posibniki, 2007. – 176 s.
2. Predko L. S. Proektuvannya do drukarskih protsesiv : navch. posib. / L. S. Predko. – Lviv : UAD, 2009. – 352 s.
3. Kantorovich L. V. Ratsionalnyi raskroy promyshlennyih materialov / L. V. Kantorovich, V. A. Zalgaller. – Novosibirsk: Nauka, 1971. – 300 s.
4. Dyckhoff, H. Cutting and Packing in Production and Distributing / H. Dyckhoff, U. Finke. – Heidelberg : Physica Verlag, 1992. – 248 p.
5. Dyckhoff, H. A Typology of cutting and packing problems / H. Dyckhoff // European J. of Operational Research. 1990. Vol. 44. P. 145-159.

6. Diana S. An Improved Genetic Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling Problem / S. Diana, A. K. Pundir. // International Journal of Computer Applications. – 2013. – №78. – pp. 34–39.
7. Hartmann S. A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling / Hartmann. // Naval Research Logistics. – 1998. – №45. – pp. 733–750.

Received 23.06.2025.

Accepted 26.06.2025.

Optimization of sheet paper cutting for the needs of printing production

The article presents the concept, architecture and principles of implementation of the information module for decision support (IM PPR) for the technologist of a printing enterprise. The module was developed to automate the processes of preparation for printing, selection of optimal cutting parameters, assignment of materials and selection of a technological route. The proposed solution combines mathematical models, production data and heuristic rules from practice, which allows to reduce decision-making time and reduce the probability of errors.

Keywords: decision support, printing, technologist, production planning, cutting, information system, optimization.

Клевцов Микита Костянтинович – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

Рудакова Ганна Володимирівна – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

Klevtsov Mykyta Kostiantynovych - postgraduate student at the department of automation, robotics and mechatronics of Kherson National Technical University.

Rudakova Hanna – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Automation, Robotics and Mechatronics Department, Kherson National Technical University.