

УДК 004.021:004.94:655

ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ПОСЛІДОВНОСТІ ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ У КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ПОЛІГРАФІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

П. І. Шепіта¹, В.М. Терновий²

¹ Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів 79013, Україна, <https://orcid.org/0000-0001-8134-8014>, e-mail: petro.i.shepita@lpnu.ua

² Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів 79013, Україна, <https://orcid.org/0009-0004-5581-3356>, e-mail: volodymyr.m.ternovyi@lpnu.ua



Ліцензія Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0).

Розглянуто задачу оптимізації послідовності виконання друкарських замовлень у комп'ютерно-інтегрованій інформаційній системі поліграфічного підприємства. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності виробничих процесів в умовах зростаючої складності замовлень, різноманітності матеріалів та частих змін технологічних параметрів. Основною метою роботи є розробка та дослідження алгоритму оптимізації послідовності виконання замовлень на основі методу віток і границь із урахуванням витрат переналагодження обладнання.

У роботі сформовано математичну модель задачі, в якій послідовність виконання замовлень представлено у вигляді маршруту на множині допустимих перестановок, а витрати переходів між замовленнями описано за допомогою матриці вартостей. Запропоновано використання операції приведення матриці витрат для отримання оцінки нижньої межі цільової функції, що дозволяє реалізувати ефективний механізм відсікання неоптимальних варіантів у процесі пошуку рішення.

Розроблений алгоритм передбачає побудову дерева рішень із послідовним розгалуженням множини допустимих рішень та використанням штрафної функції для вибору найбільш перспективних переходів між замовленнями. Проведене експериментальне дослідження підтвердило ефективність запропонованого підходу: отримано зменшення сумарних витрат переналагодження до 39,5 % порівняно з довільною послідовністю, а також скорочення часу виконання виробничого циклу.

Побудовані залежності демонструють, що зі збільшенням кількості замовлень метод віток і границь забезпечує значно кращу масштабованість порівняно з повним перебором, що робить його придатним для практичного застосування

в інформаційних системах поліграфічних підприємств. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності планування виробництва, зменшення простоїв обладнання та оптимізації використання ресурсів.

Ключові слова: *оптимізація виробничих процесів, поліграфічне підприємство, послідовність виконання замовлень, метод віток і границь, задача комівояжера, комп'ютерно-інтегровані системи, планування виробництва, матриця витрат, переналагодження обладнання, алгоритми оптимізації.*

Постановка проблеми. Сучасні поліграфічні підприємства функціонують в умовах зростання кількості індивідуалізованих замовлень, зменшення тиражів та підвищення вимог до термінів виконання продукції, що зумовлює необхідність підвищення ефективності управління виробничими процесами. Однією з ключових задач є оптимізація послідовності виконання замовлень, яка безпосередньо впливає на тривалість виробничого циклу, рівень завантаження обладнання та витрати, пов'язані з переналагодженням друкарських машин. У поліграфічному виробництві ця задача ускладнюється наявністю технологічних обмежень, залежних від послідовності операцій, багатостадійністю процесів (додрукарська, друкарська та післядрукарська обробка), а також необхідністю врахування часу підготовки обладнання при зміні типу продукції або кольорових параметрів.

Існуючі підходи до розв'язання задачі планування, зокрема евристичні та метаевристичні алгоритми, забезпечують прийнятну швидкість отримання рішень для задач великої розмірності, проте не гарантують їх оптимальності. З іншого боку, точні методи, такі як математичне програмування, характеризуються високою обчислювальною складністю та обмеженою застосовністю у реальних виробничих умовах. Таким чином, виникає науково-практична проблема розробки ефективного методу оптимізації послідовності виконання замовлень, який би поєднував високу точність розв'язку з прийнятною обчислювальною складністю та враховував специфіку поліграфічного виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні дослідження у сфері оптимізації послідовності виконання замовлень у поліграфічному виробництві ґрунтуються на розширених моделях задач розкладу, зокрема гнучких задачах типу Job Shop Scheduling Problem із врахуванням технологічних обмежень. У роботі [1] задача планування в поліграфічному виробництві формалізується як гнучка система з варіативною послідовністю операцій, де враховуються залежні від послідовності переналагодження, простої обладнання та перекриття операцій. Для розв'язання використовуються метаевристичні методи, що демонструють ефективність для задач великої розмірності, однак не гарантують отримання оптимального результату.

У дослідженні [2] запропоновано використання моделей змішаного цілочислового програмування та обмежувального програмування для задачі планування в поліграфії. Попри високу точність моделей, їх застосування обмежується значною обчислювальною складністю, що ускладнює використання в реальних виробничих умовах. Робота [3] розглядає оптимізацію послідовності друкарських замовлень із

урахуванням кольорових переходів, де застосовано ітераційні жадібні алгоритми, здатні зменшити витрати переналагодження, проте без гарантії глобального оптимуму.

Графові підходи до оптимізації розкладу, зокрема у роботі [4], забезпечують підвищення швидкості пошуку рішень та покращення показників *makespan*, однак також належать до евристичних методів. Водночас точні підходи, зокрема метод віток і границь, досліджені у [5] та [6], дозволяють отримувати оптимальні рішення за рахунок використання оцінок нижніх меж та відсікання неперспективних варіантів.

На відміну від існуючих підходів, запропонований у роботі метод базується на адаптованому алгоритмі віток і границь, що поєднує точність оптимізаційних методів із ефективним скороченням простору пошуку. Це дозволяє отримати гарантовано оптимальну послідовність виконання замовлень із урахуванням специфіки поліграфічного виробництва, зокрема витрат переналагодження та структури технологічних процесів, що забезпечує його перевагу над евристичними та класичними оптимізаційними підходами.

Мета статті. Метою статті є розробка та дослідження методу оптимізації послідовності виконання замовлень у комп'ютерно-інтегрованій інформаційній системі поліграфічного підприємства на основі алгоритму віток і границь, спрямованого на мінімізацію сумарного часу виконання замовлень та витрат, пов'язаних із переналагодженням обладнання, з урахуванням технологічних обмежень виробничого процесу та специфіки поліграфічного виробництва.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасні поліграфічні підприємства функціонують в умовах високої динаміки замовлень, широкої номенклатури продукції та необхідності оперативного реагування на зміни технологічних параметрів виробництва. Однією з ключових задач, що безпосередньо впливає на ефективність функціонування виробничої системи, є формування оптимальної послідовності виконання друкарських замовлень. Нераціональний порядок обробки замовлень призводить до збільшення часу переналагодження обладнання, підвищення витрат матеріалів, зростання простоїв та зниження загальної продуктивності підприємства. У зв'язку з цим розглянуто математичну модель задачі, визначено критерій оптимальності та обмеження, а також запропоновано алгоритм на основі методу віток і границь [7].

Нехай задано множину друкарських замовлень $X = \{1, 2, \dots, n\}$, де кожному номеру відповідає окреме замовлення, що підлягає виконанню на поліграфічному обладнанні [8].

На множині X допустимих послідовностей розглядається маршрут

$$x = (i_1, i_2, \dots, i_n, i_1), \quad (1)$$

де i_n — довільна перестановка чисел $1, \dots, n$, яка визначає порядок виконання друкарських замовлень.

Кожному переходу від замовлення i до замовлення j ставиться у відповідність величина

$$c_{ij} \geq 0, \quad (2)$$

що характеризує витрати на переналагодження обладнання, які включають: зміну фарб; зміну матеріалу (папір, текстиль тощо); переналаштування параметрів друку; часові витрати на підготовку [9].

Вважаємо, що

$$c_{ii} = +\infty, \quad i = 1, \dots, n, \quad (3)$$

що виключає переходи виду (i, i) .

Матрицю затрат позначимо через

$$C = (c_{ij}), \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (4)$$

Тоді сумарні затрати виконання послідовності x визначаються функцією

$$f(x) = c_{i_1 i_2} + c_{i_2 i_3} + \dots + c_{i_n i_1}. \quad (5)$$

Для розв'язання поставленої задачі використовується метод віток і границь, який дозволяє здійснювати спрямований перебір множини можливих послідовностей виконання друкарських замовлень із використанням оцінок нижньої межі цільової функції [7, 9].

Нехай задано матрицю витрат переходів між замовленнями

$$C = (c_{ij}), \quad i, j = 1, \dots, n, \quad c_{ij} \geq 0. \quad (6)$$

Виконаємо операцію приведення матриці.

Для кожного рядка визначимо:

$$g_i = \min_{j=1, \dots, n} c_{ij}, \quad (7)$$

а для кожного стовпця:

$$h_i = \min_{i=1, \dots, n} (c_{ij} - g_i), \quad (8)$$

Тоді елементи приведеної матриці визначаються як:

$$\bar{c}_{ij} = (c_{ij} - g_i - h_j). \quad (9)$$

Матрицю

$$\bar{C} = (\bar{c}_{ij}), \quad (10)$$

називають приведеною матрицею.

Таким чином, приведення полягає у відніманні мінімального елемента кожного рядка, а потім мінімального елемента кожного стовпця. При цьому виконується [8]:

$$\bar{c}_{ij} \geq 0, \quad (11)$$

і в кожному рядку та кожному стовпці матриці \bar{C} існує хоча б один нульовий елемент.

Введемо величину:

$$d(X) = \sum_{i=1}^n g_i + \sum_{j=1}^n h_j. \quad (12)$$

Для будь-якої послідовності виконання замовлень

$$x = (i_1, i_2, \dots, i_n, i_1) \in X \quad (13)$$

$$\text{маємо: } f(x) = c_{i_1 i_2} + c_{i_2 i_3} + \dots + c_{i_n i_1} = \bar{c}_{i_1 i_2} + \bar{c}_{i_2 i_3} + \dots + \bar{c}_{i_n i_1} + d(X) \geq d(X). \quad (14)$$

Отже, величина $d(X)$ не перевищує істинного значення цільової функції, але може бути меншим або рівним.

Процес розв'язання задачі оптимізації послідовності виконання друкарських замовлень методом віток і границь представлений у вигляді дерева рішень, кожна вершина якого відповідає певній підмножині допустимих послідовностей [7].

Початкова вершина дерева відповідає множині всіх можливих послідовностей X .

На кожному кроці з множини кандидатів на гілкування вибирається підмножина X' , яка має найменшу оцінку нижньої межі $d(X')$. Дана множина розбивається на дві підмножини: $X1'$ – множина послідовностей, що не містять певної дуги (r,s) ; $X2'$ – множина послідовностей, що містять дугу (r,s) .

Таким чином, здійснюється розгалуження [8]:

$$X' \rightarrow X'_1 \cup X'_2. \quad (15)$$

Редо дерева, що відповідає включенню дуги (r,s) , позначається як (r,s) , а ребро, що відповідає її виключенню — як $(\overline{r,s})$.

Для кожної вершини дерева будується приведена матриця C' яка формується шляхом виключення рядків і стовпців, що відповідають уже зафіксованим переходам між замовленнями [7].

Елемент матриці $\overline{C}'(\mu, \nu)$ визначає витрати переходу між замовленнями μ та ν у межах поточної підмножини X' .

Розгалуження виконується за дугою (r,s) , для якої:

$$\overline{C}'(r,s) = 0. \quad (15)$$

Це пояснюється тим, що нульові елементи приведеної матриці відповідають найбільш перспективним переходам (з точки зору мінімізації витрат).

Для кожної дуги (μ, ν) , що відповідає нульовому елементу приведеної матриці, вводиться функція [9]:

$$\theta(\mu, \nu) = \min_{\rho \neq \nu} \overline{C}'(\mu, \rho) + \min_{\sigma \neq \mu} \overline{C}'(\sigma, \nu). \quad (16)$$

Ця величина визначає “штраф” за виключення дуги (μ, ν) .

Вибір дуги для гілкування здійснюється за правилом:

$$\theta(r,s) = \max_{(\mu, \nu): \overline{C}'(\mu, \nu) = 0} \theta(\mu, \nu). \quad (17)$$

У контексті поліграфічного підприємства: дуга (i,j) відповідає переходу від одного друкарського замовлення до іншого; нульові елементи матриці — це переходи з мінімальними витратами переналагодження; функція $\theta(\mu, \nu)$ оцінює втрати у випадку заборони певного переходу [7-9].

Таким чином, алгоритм обирає ті переходи між замовленнями, які є критичними для збереження мінімального часу виробничого циклу.

Експериментальне дослідження ефективності алгоритму. Метою експериментального дослідження є оцінка ефективності запропонованого алгоритму оптимізації послідовності виконання друкарських замовлень на основі методу віток і границь у комп'ютерно-інтегрованій інформаційній системі поліграфічного підприємства.

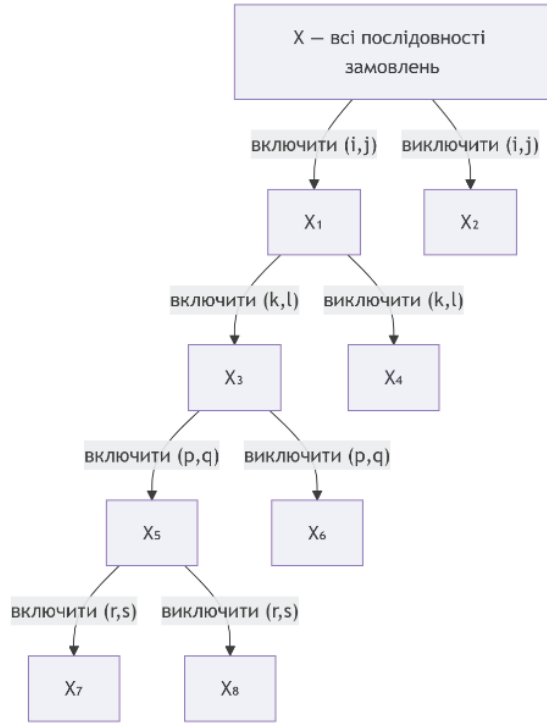


Рис. 1. Графічна інтерпретація процесу гілкування

Для проведення експерименту розглянуто множину з $n=6$ друкарських замовлень, які відрізняються за технологічними параметрами: тип фарби, матеріал носія та режим друку. Кожному переходу між замовленнями поставлено у відповідність витрати переналагодження обладнання, що включають час очищення друкарських секцій, заміну матеріалу та налаштування параметрів друку.

Матриця витрат переходів між замовленнями має вигляд:

Таблиця 1

Матриця витрат переналагодження обладнання $C=(c_{ij})$

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6
1	∞	27	43	16	30	26
2	7	∞	16	1	30	25
3	20	13	∞	35	5	0
4	21	16	25	∞	18	18
5	12	46	27	48	∞	5
6	23	5	5	9	5	∞

Значення $c_{ij}=\infty$ відповідає забороні переходу від замовлення i до самого себе.

На першому етапі до матриці C застосовується операція приведення. Для кожного рядка визначаються мінімальні елементи g_i , після чого виконується редукція, а потім аналогічна операція виконується для стовпців із визначенням h_j .

У результаті формується приведена матриця C^- , що містить принаймні один нульовий елемент у кожному рядку та стовпці.

Сумарна величина приведення:

$$d(X) = \sum_{i=1}^n g_i + \sum_{j=1}^n h_j, \quad (18)$$

визначає початкову оцінку нижньої межі цільової функції.

На основі приведеної матриці визначаються нульові елементи, для яких обчислюється штрафна функція $\theta(i,j)$. Дуга з максимальним значенням $\theta(i,j)$ обирається для гілкування.

На кожному кроці: формується дві підмножини $X1'$ та $X2'$; обчислюються оцінки $d(X1')$, $d(X2')$; здійснюється відсікання неоптимальних варіантів.

У результаті виконання алгоритму отримано оптимальну послідовність виконання друкарських замовлень: $x^* = (2,4,1,5,6,3,2)$

Сумарні витрати переналагодження: $f(x^*) = 1+21+30+5+5+13=75$.

Для оцінки ефективності алгоритму було виконано порівняння з довільною (неоптимізованою) послідовністю виконання замовлень:

$$x = (1,2,3,4,5,6,1);$$

$$f(x) = 27+16+35+18+5+23=124.$$

Отримані результати свідчать, що застосування методу віток і границь дозволяє:

зменшити сумарні витрати переналагодження на $(124-75)/124 \approx 39.5\%$, скоротити час виконання виробничого циклу; підвищити ефективність використання друкарського обладнання; зменшити кількість технологічних простой.

Таким чином, запропонований алгоритм є ефективним інструментом для оптимізації виробничого планування у поліграфічних підприємствах.

Залежність (рис.2) демонструє зростання витрат зі збільшенням кількості замовлень як для довільної послідовності їх виконання, так і для оптимізованої послідовності, отриманої методом віток і границь. При цьому видно, що застосування алгоритму оптимізації дозволяє суттєво зменшити темп зростання витрат, особливо при збільшенні розмірності задачі.

Аналіз отриманих результатів показує, що при збільшенні кількості друкарських замовлень ефективність застосування методу віток і границь зростає. Якщо для малих значень n різниця між неоптимізованою та оптимізованою послідовністю є відносно невеликою, то при збільшенні кількості замовлень спостерігається суттєве зниження сумарних витрат переналагодження. Це пояснюється експоненційним зростанням кількості можливих послідовностей, серед яких оптимізаційний алгоритм дозволяє ефективно знаходити найбільш раціональні варіанти.

На рисунку 3 представлено порівняння часу виконання алгоритму повного перебору та методу віток і границь залежно від кількості замовлень.

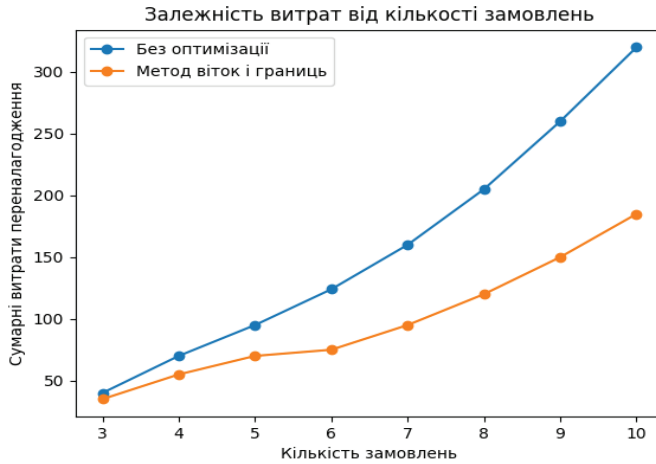


Рис.2. Залежність витрат від кількості замовлень



Рис.3. Залежність часу виконання алгоритму від кількості замовлень

Аналіз отриманих результатів демонструє, що зі зростанням кількості друкарських замовлень обчислювальні витрати при використанні повного перебору стрімко збільшуються, що зумовлено комбінаторною природою задачі. Натомість застосування методу віток і границь дозволяє підвищити ефективність обчислень, оскільки значна частина варіантів відкидається ще до їх повного аналізу, що зменшує загальний обсяг пошуку.

Як видно з графіка, різниця у часі виконання стає особливо помітною вже при $n \geq 7$, де метод повного перебору стає практично непридатним для використання в реальних інформаційних системах поліграфічного підприємства. Натомість метод віток і границь демонструє значно повільніше зростання часу виконання, що підтверджує його ефективність для задач оптимізації виробничого планування.

Висновки. У статті розглянуто задачу оптимізації послідовності виконання друкарських замовлень у комп'ютерно-інтегрованої інформаційній системі поліграфічного підприємства та запропоновано підхід до її розв'язання на основі методу віток і границь. У ході дослідження було здійснено формалізацію задачі у вигляді комбінаторної моделі, що ґрунтується на представленні послідовності виконання замовлень як маршруту на множині допустимих перестановок. Запропоновано математичний апарат, який враховує витрати переналагодження обладнання, технологічні обмеження та специфіку поліграфічного виробництва.

Розроблений алгоритм базується на використанні операції приведення матриці витрат та оцінок нижньої межі цільової функції, що дозволяє ефективно реалізувати процедуру відсікання неоптимальних рішень. Використання функції штрафів для вибору дуг гілкування забезпечує спрямований пошук оптимальної або квазіоптимальної послідовності виконання замовлень.

Результати експериментального дослідження підтвердили ефективність запропонованого підходу. Зокрема, встановлено, що застосування методу віток і границь дозволяє зменшити сумарні витрати переналагодження обладнання приблизно на 39,5 % порівняно з неоптимізованою послідовністю виконання замовлень, а також суттєво скоротити час виробничого циклу.

Побудовані графічні залежності показали, що зі збільшенням кількості замовлень ефективність алгоритму зростає, тоді як повний перебір стає обчислювально неприйнятним. Метод віток і границь демонструє значно кращі характеристики масштабованості та може бути застосований у реальних інформаційних системах поліграфічних підприємств.

Отримані результати свідчать про доцільність інтеграції запропонованого алгоритму у системи комплексного супроводу замовлень, що дозволить підвищити ефективність планування виробництва, зменшити простой обладнання та оптимізувати використання ресурсів.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні моделі з урахуванням багатокритеріальної оптимізації, стохастичних факторів виробничого середовища, а також інтеграції з інтелектуальними методами, зокрема машинним навчанням, для прогнозування параметрів переналагодження та адаптивного планування виробничих процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Metaheuristics for the online printing shop scheduling problem / W. T. Lunardi et al. *European Journal of Operational Research*. 2021. Vol. 2, no. 293. P. 419–441. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.12.021>.
2. Mixed Integer linear programming and constraint programming models for the online printing shop scheduling problem / W. T. Lunardi et al. *Computers & Operations Research*. 2020. Vol. 123. P. 105020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105020>.
3. A job sequence optimization approach for parallel machine scheduling problem in printing manufacturing systems / H. Li et al. *IEEE Access*. 2024. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2024.3396455>.

4. Job Shop Scheduling Problem Optimization by Means of Graph-Based Algorithm / J. Stastny et al. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, no. 4. P. 1921. URL: <https://doi.org/10.3390/app11041921>.
5. Mahdavi Mazdeh M., Sarhadi M., Hindi K. S. A branch-and-bound algorithm for single-machine scheduling with batch delivery and job release times. *Computers & Operations Research*. 2008. Vol. 35, no. 4. P. 1099–1111. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.07.006>.
6. A branch and bound algorithm for a parallel machine scheduling problem in green manufacturing industry considering time cost and power consumption / Y. Xiao et al. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 320. P. 128867. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128867>.
7. Маций О. Б. Огляд завдань маршрутизації, що зводяться до задачі комівояжера. *Open Information and Computer Integrated Technologies*. 2020. № 86. С. 152–159. URL: <https://doi.org/10.32620/oikit.2019.86.11>.
8. Столярова А. В., Барау К. Аналіз ефективності алгоритмів розв'язання задачі в'язкопружності. *Visnyk of Zaporizhzhya National University Physical and Mathematical Sciences*. 2024. № 1. С. 84–91. URL: <https://doi.org/10.26661/2786-6254-2024-1-10>.
9. Шаповалова С., Яременко Д. Застосування Matlab у вивченні генетичних алгоритмів. вирішення задачі комівояжера. *The results of scientific mind's development: 2019 / chair H. Тупко*. 2019. URL: <https://doi.org/10.36074/22.12.2019.v1.23>.

REFERENCES

1. Metaheuristics for the online printing shop scheduling problem / W. T. Lunardi et al. *European Journal of Operational Research*. 2021. Vol. 2, no. 293. P. 419–441. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.12.021>.
2. Mixed Integer linear programming and constraint programming models for the online printing shop scheduling problem / W. T. Lunardi et al. *Computers & Operations Research*. 2020. Vol. 123. P. 105020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105020>.
3. A job sequence optimization approach for parallel machine scheduling problem in printing manufacturing systems / H. Li et al. *IEEE Access*. 2024. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2024.3396455>.
4. Job Shop Scheduling Problem Optimization by Means of Graph-Based Algorithm / J. Stastny et al. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, no. 4. P. 1921. URL: <https://doi.org/10.3390/app11041921>.
5. Mahdavi Mazdeh M., Sarhadi M., Hindi K. S. A branch-and-bound algorithm for single-machine scheduling with batch delivery and job release times. *Computers & Operations Research*. 2008. Vol. 35, no. 4. P. 1099–1111. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.07.006>.
6. A branch and bound algorithm for a parallel machine scheduling problem in green manufacturing industry considering time cost and power consumption / Y. Xiao et al. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 320. P. 128867. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128867>.
7. Matsii O. B. Review of routing problems reducible to the traveling salesman problem. *Open Information and Computer Integrated Technologies*. 2020. No. 86. pp. 152–159. URL: <https://doi.org/10.32620/oikit.2019.86.11>.

8. Stoliarova A. V., Barau K. Analysis of the efficiency of algorithms for solving viscoelasticity problems. *Visnyk of Zaporizhzhya National University. Physical and Mathematical Sciences*. 2024. No. 1. pp. 84–91. URL: <https://doi.org/10.26661/2786-6254-2024-1-10>.
9. Shapovalova S., Yaremenko D. Application of MATLAB in studying genetic algorithms: solving the traveling salesman problem. In: *The Results of Scientific Mind's Development: 2019* / ed. N. Tupko. 2019. URL: <https://doi.org/10.36074/22.12.2019.v1.23>.

doi: 10.32403/2411-3611-2026-1-49-132-143

OPTIMIZATION OF THE JOB SEQUENCING ALGORITHM IN A COMPUTER-INTEGRATED INFORMATION SYSTEM OF A PRINTING ENTERPRISE

P. I. Shepita¹, V. M. Ternovyi²

¹ Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera Str., 12, Lviv 79013, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0001-8134-8014>,
e-mail: petro.i.shepita@lpnu.ua

² Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera Str., 12, Lviv 79013, Ukraine, <https://orcid.org/0009-0004-5581-3356>,
e-mail: volodymyr.m.ternovyi@lpnu.ua

The paper considers the problem of optimizing the sequence of printing job execution in a computer-integrated information system of a printing enterprise. The relevance of the study is conditioned the need to improve the efficiency of production processes under conditions of increasing order complexity, diversity of materials, and frequent changes in technological parameters. The main objective of the work is to develop and investigate an algorithm for optimizing the job execution sequence based on the branch and bound method, taking into account the costs of equipment setup and reconfiguration.

A mathematical model of the problem is formulated, in which the sequence of job execution is represented as a route over the set of admissible permutations, while transition costs between jobs are described using a cost matrix. The use of a cost matrix reduction procedure is proposed to obtain a lower bound estimate of the objective function, which enables the implementation of an efficient pruning mechanism for eliminating non-optimal solutions during the search process.

The developed algorithm involves constructing a decision tree with successive branching of the set of admissible solutions and applying a penalty function to select the most promising transitions between jobs. The conducted experimental study confirmed the effectiveness of the proposed approach: a reduction in total setup costs of up to 39.5% compared to a non-optimized sequence was achieved, along with a decrease in the overall production cycle time.

The obtained dependencies demonstrate that as the number of jobs increases, the branch and bound method provides significantly better scalability compared to

exhaustive search, making it suitable for practical implementation in information systems of printing enterprises. The results obtained can be used to improve production planning efficiency, reduce equipment downtime, and optimize resource utilization.

Keywords: *production process optimization, printing enterprise, job sequencing, branch and bound method, traveling salesman problem, computer-integrated systems, production planning, cost matrix, equipment setup, optimization algorithms.*

Стаття надійшла до редакції: 29.03.2026.

Submitted: 29.03.2026.

Прийнято до друку: 07.04.2026.

Accepted: 07.04.2026.

Опубліковано: 20.05.2026.

Published: 20.05.2026.