

УДК 655.52:658.5

ОПЕРАТИВНЕ ПЛАНУВАННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПОЛІГРАФІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

В. П. Ткаченко¹, Г. Ю. Єременко¹, А. С. Гордєєв²¹Харківський Національний університет радіоелектроніки²Харківській національний економічний університет ім. С. Кузнеця

У роботі розглядається проблема підвищення ефективності функціонування поліграфічного підприємства за рахунок розробки і впровадження методу автоматизованого планування завантаження технологічного обладнання. Підвищення якості планування передбачає контроль виконання замовлення на всіх стадіях технологічного процесу, своєчасне планування та перепланування портфеля замовлень, що дає змогу виконувати замовлення якісно й у встановлені терміни. Підвищення ж ефективності передбачає виконання портфеля замовлень якісно, у встановлений термін і при цьому з мінімальними витратами для підприємства та з мінімізацією простою обладнання. Запропоновано метод розв'язання актуальної задачі — автоматизації оперативного планування завантаження обладнання на поліграфічному підприємстві. Система оперативного планування виробництва, насамперед у частині оптимізації завантаження обладнання, має забезпечувати мінімальну тривалість виробничого циклу, знижувати собівартість готової продукції та підвищувати загальну ефективність діяльності поліграфічного підприємства. Отримані результати мають важливе практичне значення та можуть бути використані для подальших досліджень і впровадження у складі автоматизованих систем планування та управління поліграфічним виробництвом. Загальний час виконання портфеля замовлень після застосування алгоритму локального поліпшення розкладу становив 38%.

Ключові слова: поліграфічне підприємство, автоматизація, ефективність виробництва, планування, собівартість, портфель замовлень, якість.

Вступ. Сучасне поліграфічне виробництво характеризується широким асортиментом продукції, різноманітністю базових виробничих технологій, унаслідок чого з'являється дедалі більше варіантів технологічного процесу. Останнім часом актуальною проблемою стає завдання оперативного планування виробництва, розв'язання якого дає змогу ефективно розподілити

виробничі ресурси. Це зумовлює необхідність розробки та впровадження автоматизованих систем планування й управління поліграфічним підприємством [1, 5, 9].

Поліграфічне виробництво за характером випуску продукції належить до дискретного типу виробництва. Виробництво поліграфічної продукції складається з відомого набору технологічних операцій, які не завжди є однаковими для кожного окремого виду видання. Як основні можна виокремити такі етапи: виготовлення оригінал-макета видання, виготовлення друкарських форм, друк, брошурувально-палітурні процеси, пакування. У проміжках між цими операціями відбувається транспортування матеріалів і напівфабрикатів, а також налагодження та підготовка до роботи обладнання, необхідного для наступної технологічної операції [2, 7, 8, 12].

Оперативне планування являє собою систему заходів, спрямованих на конкретизацію перспективного й поточного плану виробництва продукції наявного портфеля замовлень, у тому числі — узгодженого плану завантаження обладнання на певний проміжок часу.

План завантаження обладнання має бути спрямований на забезпечення своєчасного виконання договірних зобов'язань поліграфічного підприємства щодо випуску продукції кожного замовлення, а також на мінімізацію тривалості виробничого циклу всього портфеля замовлень. При цьому обов'язковим є дотримання послідовності операцій, визначених технологічним процесом для кожного виду робіт. Важливим критерієм є досягнення максимально можливого рівня використання виробничих ресурсів, що безпосередньо сприяє зростанню прибутковості підприємства. Для підтримання збалансованості функціонування окремих цехів формуються наскрізні графіки завантаження обладнання. Отже, система оперативного планування виробництва, насамперед у частині оптимізації завантаження обладнання, має забезпечувати мінімальну тривалість виробничого циклу, знижувати собівартість готової продукції та підвищувати загальну ефективність діяльності поліграфічного підприємства.

Аналіз попередніх досліджень. Під час побудови автоматизованих систем планування та управління виробництвом активно застосовуються відносно нові для вітчизняної практики управлінські технології: управління проєктами, управління ресурсами, промислова логістика. Незважаючи на відмінності у сфері застосування зазначених технологій, мета їх використання єдина — оптимізувати використання наявних матеріальних ресурсів шляхом складання відповідних розкладів, у тому числі завантаження обладнання.

Для автоматизації планування виробничого процесу традиційно використовуються комп'ютерні методи обробки замовлень на базі програмних продуктів: Microsoft Project, Enterprise Dynamics, Primavera, Printeffect та ін. [3, 6], які дозволяють оперативно систематизувати виробничий процес і побудувати певний план завантаження обладнання.

Існує багато методик побудови графіків завантаження, однак у практичній діяльності підприємств планування здебільшого здійснюється вручну [4, 10, 11, 13 – 15]. Це зумовлено недостатньою гнучкістю програм, представлених на ринку, їхньою високою вартістю, складністю та тривалим періодом впровадження, а також відсутністю чіткої орієнтації на поліграфічну галузь, яка має низку специфічних особливостей.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування поліграфічного підприємства за рахунок розробки і впровадження методу автоматизованого планування завантаження технологічного обладнання.

Об'єктом дослідження виступає технологічний процес виробництва поліграфічної продукції.

Предметом дослідження є методи автоматизації процесу оперативного планування завантаження обладнання.

Критерії ефективності оперативного планування завантаження поліграфічного обладнання. Найбільш важливими планово-економічними показниками підприємства є економічний ефект і ефективність. Економічний ефект відображає економію у вигляді зниження собівартості робіт від впровадження методу планування завантаження обладнання. Відносний показник — ефективність, характеризує співвідношення отриманого ефекту з витратами на його досягнення.

У нашому випадку підвищення якості планування передбачає контроль виконання замовлення на всіх стадіях технологічного процесу, своєчасне планування та перепланування портфеля замовлень, що дає змогу виконувати замовлення якісно й у встановлені терміни. Підвищення ж ефективності передбачає виконання портфеля замовлень якісно, у встановлений термін і при цьому з мінімальними витратами для підприємства (у даному випадку витратами часу) та з мінімізацією простою обладнання.

Важливим також є визначення пріоритетності виконання кожної операції кожного окремого замовлення, що дає змогу скоротити час виконання більш важливих для підприємства замовлень без шкоди для виконання решти замовлень [4].

Питання, коли й у якій послідовності виконувати роботи, на реальному виробництві впливає на величину витрат, пов'язаних із їх виконанням, проте в ідеалізованих задачах чистого впорядкування цей вплив не враховується.

Існує три види затрат, якими визначається складений розклад. Це вартість експлуатації машини, вартість зберігання запасів і вартість затримок окремих етапів робіт.

Витрати на зберігання зазвичай оцінюються у 2–3 % від вартості запасів на місяць і залежать від фізичного обсягу запасів. Залежно від обставин, витрати можуть визначатися кількістю робіт, обсягом незавершеної або завершеної роботи. Завжди існують економічні причини, які спонукають прагнути до зменшення середнього обсягу запасів. Саме цим пояснюється прагнення зменшити середню тривалість виконання робіт [5]. Це прагнення зумовлене також конкуренцією, оскільки зменшення тривалості виконання дає змогу виготовити більше продукції і, відповідно, знизити вартість виробництва одиниці продукції.

Коефіцієнт використання обладнання є надзвичайно важливим економічним чинником, що характеризує складений розклад. Якщо розклад побудований таким чином, що простої обладнання в ньому мінімальні або мінімальною є середня тривалість виконання робіт, це означає, що те саме обладнання за однаковий проміжок часу виконує більший обсяг робіт, ніж за іншого розкладу. З іншого боку, правильно складений розклад дає змогу виконати той самий обсяг робіт меншою кількістю обладнання [6].

Виходячи з викладеного вище, можна виокремити такі критерії ефективності оперативного планування завантаження обладнання:

- відхилення фактичного випуску продукції від планового;
- своєчасність завершення виконання замовлення;
- мінімізація часу виконання портфеля замовлень.

Останній критерій є комплексним і включає: мінімізацію кількості переналаджень, цілісність і логічну узгодженість планів, мінімізацію часу простоїв обладнання.

Постановка задачі оперативного планування завантаження обладнання. Розглядається задача складання розкладів виконання замовлень на неперіодичні видання на поліграфічному підприємстві. Виконання робіт, що входять до замовлення, здійснюється на відповідному обладнанні (машино-центрах) і можливе лише у проміжки часу, не зайняті під періодичні видання (так звані «вікна»). Припускається, що на початку періоду планування відомий перелік замовлень, які підлягають виконанню. Кожне замовлення

являє сукупність взаємозалежних робіт, виконання яких здійснюється на машиноцентрах. Одиниці обладнання об'єднані у групи взаємозамінних верстатів (стадії обробки) однакової продуктивності на кожній стадії. У загальному випадку кожна робота для виконання має пройти обробку послідовно на верстатах кожної стадії, причому для кожної роботи порядок проходження стадій може відрізнятися. На кожній наступній стадії виконання роботи може здійснюватися на будь-якому верстаті цієї стадії. Потрібно побудувати такий розклад виконання робіт на верстатах, за якого час, необхідний для виконання портфеля замовлень, буде мінімальним.

Враховуючи особливості постановки задачі (роботи, що входять до портфеля замовлень на неперіодичні видання, можуть виконуватися лише у «вікнах»), введемо множину $G^i = \{G_1^i, G_2^i, \dots, G_d^i\}$, яка описує «вікна» за d - днів на i -му обладнанні. При цьому $G_w^i = \{g_1, g_2, \dots, g_h\}$, $w = \overline{1, d}$, де h — кількість «вікон» на $w \in d$ день на i -му обладнанні. Значення g_b , $b = \overline{1, h}$ являють собою пару чисел $g_b = (x_{g_b}, t_{g_b})$, $[x_{g_b}] = \text{хв.}$, $[t_{g_b}] = \text{хв.}$, де перша координата — час початку «вікна» у G_w^i , а друга — тривалість «вікна».

Зазначимо, що на підприємстві відбуваються дві виробничі перерви за добу (кожна по 30 хв.). Під час формування «вікон» ці перерви в роботі не враховуються. Тобто, якщо до перерви й одразу після неї присутні «вікна», то необхідно вважати ці два «вікна» як одне. Аналогічно, якщо одне «вікно» припадає на кінець попереднього дня, а інше — на початок наступного дня (тобто одне «вікно» триває до 24:00 (1440 хв.), а інше починається о 00:00 (0 хв.) наступного дня), то два таких «вікна» також вважаються одним.

Нехай $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ — множина обладнання на поліграфічному виробництві; $R = \{r_1, r_2, \dots, r_v\}$ — множина стадій (групи взаємозамінного обладнання) на поліграфічному виробництві; $J = \{j_1, j_2, \dots, j_k\}$ — множина замовлень у портфелі замовлень; $L^j = \{l_1^j, l_2^j, \dots, l_m^j\}$, $j \in J$ — множина операцій, необхідних для виконання j -го замовлення; t_{jli} — час, необхідний для виконання l -ої операції j -ої роботи на i -му обладнанні.

Змінними параметрами моделі виступатимуть:

- $X = \{x_{jli}, j \in J, l = \overline{1, m_j}, i \in I\}$, де x_{jli} — момент початку виконання операції l роботи j на верстаті i ;
- $Y = \{y_{jli}, j \in J, l = \overline{1, m_j}, i \in I\}$, де $y_{jli} \in \{0, 1\}$:

- $y_{jli} = \begin{cases} 1, \text{ якщо операція } l \text{ роботи } j \text{ виконується} \\ \text{на обладнанні } i \\ 0, \text{ у протилежному випадку;} \end{cases}$
- $Z = \{z_{jli}, j \in J, l = \overline{1, m_j}, i \in I\}$, де z_{jli} — номер за порядком виконання l -ої операції j -ої роботи на i -ому верстаті, $z_{jli} \in \{0, 1, \dots, N\}$,
 $N = \sum_{j \in J} m_j, j \in J, l = \overline{1, m_j}, i \in I$.

Тоді математична постановка задачі оперативного планування завантаження обладнання на поліграфічному виробництві може бути подана у вигляді:

$$F = \min_{J \in \Omega} T, \quad (1)$$

$$\Omega: \begin{cases} \sum_{i \in I} y_{jli} = 1, l = \overline{1, m_j}, j \in J, \\ [y_{jli} = 1 \vee y_{jl-1s} = 1] \Rightarrow [x_{jli} \geq x_{jl-1s} + t_{jl-1s}], l = \overline{2, m_j}, i \in I, s \in I, j \in J, \\ [y_{jli} = 1, y_{usi} = 1, z_{jli} = z_{usi} + 1] \Rightarrow [x_{jli} \geq x_{usi} + t_{usi}], s = \overline{1, m_u}, l = \overline{1, m_j}, u \in J, \\ t_{jli} \leq t_{gb}, l = \overline{2, m_j}, i \in I, j \in J, b = \overline{1, h}, \\ [x_{jli} \geq 0, y_{jli} \in \{0, 1\}, z_{jli} \in \{0, 1, \dots, N\}, l = \overline{1, m_j}, i \in I, j \in J. \end{cases}$$

де T — час виконання портфеля замовлень (чим менший час виконання портфеля замовлень, тим щільніше складено розклад).

Розглянемо детальніше обмеження, що входять до області Ω .

Кожна операція будь-якої роботи виконується на одному верстаті:

$$\sum_{i \in I} y_{jli} = 1, l = \overline{1, m_j}, j \in J. \quad (2)$$

Початок будь-якої операції може настати лише після завершення всіх операцій, що передують їй у технологічному процесі:

якщо $y_{jli} = 1$ та $y_{jl-1s} = 1$, то:

$$x_{jli} \geq x_{jl-1s} + t_{jl-1s}, l = \overline{2, m_j}, i \in I, s \in I, j \in J. \quad (3)$$

Початок виконання будь-якої роботи на верстаті може настати лише після завершення виконання на цьому верстаті попередньої роботи:

якщо $y_{jli} = 1, y_{usi} = 1, z_{jli} = z_{usi} + 1$, то:

$$x_{jli} \geq x_{usi} + t_{usi}, i \in I, s = \overline{1, m_u}, l = \overline{1, m_j}, u \in J, j \in J. \quad (4)$$

Тривалість будь-якої операції не має перевищувати тривалості «вікна»:

$$t_{jli} \leq t_{g_b}, l = \overline{2, m_j}, i \in I, j \in J, b = \overline{1, h}. \quad (5)$$

Умови на введені змінні:

$$x_{jli} \geq 0, y_{jli} \in \{0, 1\}, z_{jli} \in \{0, 1, \dots, N\}, i \in I, l = \overline{1, m_j}, j \in J \quad (6)$$

Для запропонованої постановки задачі оперативного планування завантаження обладнання на поліграфічному виробництві можна використати такі алгоритми [7]:

- алгоритм побудови розкладу;
- алгоритм пошуку перестановки Р глибини h;
- алгоритм локального вдосконалення розкладу;
- алгоритм критичного шляху.

Кожен із запропонованих алгоритмів забезпечує локальне вдосконалення критерію на околицях деякого локального екстремуму. Тому кожен алгоритм доцільно використовувати доти, доки відбуваються локальні вдосконалення критерію. Дослідження запропонованих алгоритмів показало, що алгоритм локального вдосконалення розкладу забезпечує найбільш ефективнішу мінімізацію цільової функції.

Дослідження ефективності розробленого алгоритму розв'язання задачі оперативного планування завантаження обладнання. Вхідні параметри розв'язання задачі оперативного планування завантаження поліграфічного обладнання подані в табл. 1–3.

Таблиця 1.

Параметри роботи j_1

№ п/п	Назва технологічної операції	Позначення	Стадія	Можливий час виконання t_{jli}	Тривалість операції (хв)
1	2	3	4	5	6
1	Виготовлення друкарських форм обкладинки	l_1	r_1	t_{111}	25
2	Друк обкладинки	l_2	r_3	$t_{125}, t_{126}, t_{127}$	360
3	Ламінування обкладинки	l_3	r_4	t_{138}, t_{139}	240
4	Виготовлення друкарських форм внутрішнього блоку	l_4	r_1	t_{141}	210
5	Друк внутрішнього блоку	l_5	r_2	$t_{152}, t_{153}, t_{154}$	420
6	Комплектування блоку	l_6	r_5	$t_{1610}, t_{1611}, t_{1612}$	180

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
7	Палітурення	l_7	r_6	$t_{1713}, t_{1714}, t_{1715}$	300
8	Обрізання видання з трьох боків	l_8	r_7	$t_{1816}, t_{1817}, t_{1818}$	240
9	Пакування	l_9	r_8	$t_{1919}, t_{1920}, t_{1921}$	450

*Таблиця 2.**Параметри роботи j_2*

№ п/п	Назва технологічної операції	Позначення	Стадія	Можливий час виконання t_{jli}	Тривалість операції (хв)
1	2	3	4	5	6
1	Виготовлення друкарських форм	11	r_1	t_{211}	120
2	Друк і фальцювання внутрішнього блока	12	r_3	$t_{222,3,4}$	240
3	Друк обкладинки	13	r_4	$t_{232,3,4}$	120
4	Підбір книжкового блока	14	r_5	$t_{2410,11,12}$	210
5	Палітурення, шиття нитками	15	r_6	$t_{2513,14,15}$	150
6	Обрізання видання з трьох боків	16	r_7	$t_{2616,17,18}$	120
7	Пакування	17	r_8	$t_{2719,20,21}$	210

*Таблиця 3.**Параметри роботи j_3*

№ п/п	Назва технологічної операції	Позначення	Стадія	Можливий час виконання t_{jli}	Тривалість операції (хв)
1	Друк внутрішнього блоку	11	r_1	t_{32}	330
2	Друк обкладинки	12	r_3	t_{33}	60
3	Ламінування обкладинки	13	r_3	t_{34}	60
4	Підбір книжкового блока	14	r_5	t_{35}	30
5	Палітурення	15	r_6	t_{36}	90
6	Обрізання видання з трьох боків	16	r_7	t_{37}	60
7	Пакування	17	r_8	t_{38}	60

Загальний час виконання портфеля замовлень (табл. 1–3) за розкладом складеним диспетчером, становив 9750 хв. Загальний час виконання портфеля замовлень після застосування алгоритму локального поліпшення розкладу становив 4200 хв.

Час виконання замовлень, відповідно, до та після застосування алгоритму наведено в табл. 4.

Таблиця 4.

Тривалість виконання замовлень

Найменування роботи портфеля замовлень	Тривалість до застосування алгоритму (хв)	Тривалість після застосування алгоритму (хв)
j_1	9360	3840
j_2	3480	3480
j_3	3780	2820

Висновки. В роботі запропоновано метод розв'язання актуальної задачі автоматизації оперативного планування завантаження обладнання на поліграфічному підприємстві.

Отримані результати мають важливе практичне значення та можуть бути використані для подальших досліджень і впровадження у складі автоматизованих систем планування та управління поліграфічним виробництвом.

Список використаних джерел

1. Пушкар О. І., Грабовський Є. М. Комп'ютеризовані системи і технології видавничо-поліграфічних виробництв. Харків : ІНЖЕК, 2011. 296 с.
2. Пушкар О. І., Грабовський Є. М., Оленич М. М. Технології поліграфічного виробництва. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2019. 200 с.
3. 2019 Survey of Management Information Systems / Dillon Mooney, James Workman. – Warrendale (PA): Printing Industries of America, 2019. Pp. 1–2.
4. Mamasioulas A., Mourtzis D., and Chrysosolouris G. A manufacturing innovation overview: concepts, models and metrics. *J. Comput. Integr. Manuf.*, 2020. URL: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1780317>.
5. Zangiacomi A., Pessot E., Fornasiero R., Bertetti M., and Sacco M. Moving towards digitalization: a multiple case study in manufacturing. *Prod. Plan. Control*, 2020. URL: <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1631468>.
6. Blazewicz J., Ecker K. H., Pesch E., Schmidt G. Weglarz J. Scheduling in Computer and Manufacturing Systems. Berlin : Springer, 2001. 511 p.
7. Borenstein D., Becker J. L., and Santos E. R. Systemic and integrated approach to flexible manufacturing systems design. *Integr. Manuf. Syst.*, 1999. URL: <https://doi.org/10.1108/09576069910370639>.
8. Kiel D., Müller J. M., Arnold C., and Voigt K. I. Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *Int. J. Innov. Manag.*, 2017. URL: [10.1142/S1363919617400151](https://doi.org/10.1142/S1363919617400151).
9. Denmark:IDA, “Potentialer og barrierer for automatisering i industrien, Copenhagen. 2015. [Online]. URL: <https://www.ida.dk/publikationer/rapporter/2015/04/potentialer-og-barrierer-for-automatisering-i-industrien>.

- https://ida.dk/sites/default/files/automatisering_i_industrien_2015_ida_analyse_0.pdf.
10. Appio F. P., Frattini F., Petruzzelli A. M., and Neirotti P. Digital Transformation and Innovation Management: A Synthesis of Existing Research and an Agenda for Future Studies. *Journal of Product Innovation Management*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1111/jpim.12562>.
 11. Gamprellis, George & Politis, Anastasios & Sofias, Ioannis & Tsigonias, Antonios & Vonitsanos, Gerasimos & Tsigonias, Marios & Macro, Kenneth. (2021). Challenges for the printing industry in the modern digital and meta - pandemic era.
 12. Lunardi W. T., Birgin E. G., Ronconi D. P., & Voos H. Metaheuristics for the Online Printing Shop Scheduling Problem. *arXiv*, 2020.
 13. Savastano M., Amendola C., Bellini F., and D'Ascenzo F. Contextual impacts on industrial processes brought by the digital transformation of manufacturing: A systematic review. *Sustain.*, 2019. URL: <https://doi.org/10.3390/su11030891>.
 14. Kritzinger W., Steinwender A., Lumetzberger S. and Sihm W. Impacts of Additive Manufacturing to the Value Creation System, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.205>.
 15. Y. Lu. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.

References

1. Pushkar O. I., Grabovsky E. M. Computerized systems and technologies of publishing and printing production. Kharkiv: INZHEK, 2011. 296 p. (in Ukrainian)
2. Pushkar O. I., Grabovsky E. M., Olenych M. M. Technologies of printing production. Kharkiv: KhNEU named after S. Kuznets, 2019. 200 p. ([in Ukrainian])
3. 2019 Survey of Management Information Systems / Dillon Mooney, James Workman. – Warrendale (PA): Printing Industries of America, 2019. Pp. 1–2.
4. Mamasioulas A., Mourtzis D., and Chryssolouris G. A manufacturing innovation overview: concepts, models and metrics. *J. Comput. Integr. Manuf.*, 2020. URL: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1780317>.
5. Zangiacomi A., Pessot E., Fornasiero R., Bertetti M., and Sacco M. Moving towards digitalization: a multiple case study in manufacturing. *Prod. Plan. Control*, 2020. URL: <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1631468>.
6. Blazewicz J., Ecker K. H., Pesch E., Schmidt G. Weglarz J. Scheduling in Computer and Manufacturing Systems. Berlin : Springer, 2001. 511 p.
7. Borenstein D., Becker J. L., and Santos E. R. Systemic and integrated approach to flexible manufacturing systems design. *Integr. Manuf. Syst.*, 1999. URL: <https://doi.org/10.1108/09576069910370639>.
8. Kiel D., Müller J. M., Arnold C., and Voigt K. I. Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *Int. J. Innov. Manag.*, 2017. URL: [10.1142/S1363919617400151](https://doi.org/10.1142/S1363919617400151).

9. Denmark:IDA, "Potentialer og barrierer for automatisering i industrien, Copenhagen. 2015. [Online]. URL:
https://ida.dk/sites/default/files/automatisering_i_industrien_2015_ida_analyse_0.pdf.
10. Appio F. P., Frattini F., Petruzzelli A. M., and Neirotti P. Digital Transformation and Innovation Management: A Synthesis of Existing Research and an Agenda for Future Studies. *Journal of Product Innovation Management*. 2021. URL:
<https://doi.org/10.1111/jpim.12562>.
11. Gamprellis, George & Politis, Anastasios & Sofias, Ioannis & Tsigonias, Antonios & Vonitsanos, Gerasimos & Tsigonias, Marios & Macro, Kenneth. (2021). Challenges for the printing industry in the modern digital and meta - pandemic era.
12. Lunardi W. T., Birgin E. G., Ronconi D. P., & Voos H. Metaheuristics for the Online Printing Shop Scheduling Problem. *arXiv*, 2020.
13. Savastano M., Amendola C., Bellini F., and D'Ascenzo F. Contextual impacts on industrial processes brought by the digital transformation of manufacturing: A systematic review. *Sustain.*, 2019. URL: <https://doi.org/10.3390/su11030891>.
14. Kritzinger W., Steinwender A., Lumetzberger S. and Sihn W. Impacts of Additive Manufacturing to the Value Creation System, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.205>.
15. Y. Lu. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.

DOI 10.32403/2411-9210-2025-1-53-154-165

OPERATIVE PLANNING OF LOADING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF A PRINTING ENTERPRISE.

V. Tkachenko¹, G. Ieremenko¹, A. Hordyeyev²

¹*Kharkiv National University of Radio Electronics*

²*Kharkiv National Economic University named after S. Kuznets*

The paper considers the problem of increasing the efficiency of the functioning of a printing enterprise by developing and implementing a method of automated planning of technological equipment loading. Improving the quality of planning involves controlling the execution of an order at all stages of the technological process, timely planning and replanning of the order portfolio, which allows you to fulfill orders qualitatively and within the established deadlines. Increasing efficiency involves fulfilling the order portfolio qualitatively, within the established deadlines and at the same time with minimal costs for the enterprise and minimizing equipment downtime. A method for solving the current problem is

proposed - automation of operational planning of equipment loading at a printing enterprise. The paper considers the problem of drawing up schedules for the execution of orders for non-periodic publications at a printing enterprise. In the general case, each job for execution must be processed sequentially on the machines of each stage, and for each job the order of passing the stages may differ. The proposed algorithms provide local improvement of the criterion on the outskirts of some local extremum. Therefore, it is advisable to use each algorithm as long as local improvements of the criterion occur. The study of the proposed algorithms showed that the local schedule improvement algorithm provides the most effective minimization of the objective function. The operational production planning system, primarily in terms of optimizing equipment loading, should ensure the minimum duration of the production cycle, reduce the cost of finished products and increase the overall efficiency of the printing enterprise. The results obtained are of important practical importance and can be used for further research and implementation as part of automated systems for planning and management of printing production. The total order portfolio execution time after applying the local schedule improvement algorithm was 38%.

Keywords: *printing company, automation, production efficiency, planning, cost, order portfolio, quality.*

Стаття надійшла до редакції 18.03.2025
Received 18.03.2025