

УДК: 655.22:519.857

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Х. Б. Кульчицька¹, М. Р. Семенів²

¹Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

²Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 28, Львів, 79013, Україна

Застосовано метод динамічного програмування для вибору однієї з трьох цифрових технологій для поліграфічних підприємств, які спеціалізуються на випуску певного виду продукції (акцидентної, журнальної та книжкової). Вибір технологій проведено з врахуванням прибутку та витрат на впровадження двома способами обчислень: за прямим та зворотним ходом, на кожному з яких приймали умовно оптимальні та безумовно оптимальні рішення. Два способи обчислень дали аналогічні результати: на підприємстві з випуску акцидентної та журнальної продукції вигідно впроваджувати технологію computer to print, на підприємстві, яке спеціалізується на випуску книжкової продукції, — технологію computer to plate. Це забезпечило максимальну вигоду з витратами, що дорівнюють запропонованим вкладенням.

Ключові слова: поліграфія, вибір цифрової технології, динамічне програмування, функціональні рівняння Беллмана.

Постановка проблеми. Поліграфія, як і будь-яка інша галузь, основою якої є інформаційні технології, перебуває у стрімкому розвитку. Впровадження цифрового друку, технологій дублювання друкованих видань електронними, інтерактивних друкарень сприяють швидкому доступу споживача до інформації, кращому її захисту, зручності використання, підвищенню візуальної якості, зменшенню вартості видань. Як відомо, вартісна політика поліграфічної продукції значною мірою визначається затратами на її виготовлення, де вагоме місце займають матеріали та технологія. Сучасні цифрові технології застосовують для випуску найрізноманітнішої продукції — від формулярів до багатотомних книжкових видань. Для одного і того ж підприємства можливе застосування різних варіантів технологій з різними техніко-економічними показниками: якістю, прибутком, витратами. Проблема ускладнюється, якщо підприємств, як і технологій, є декілька, і необхідно вибрати технологію для конкретного підприємства за умови обмежених вкладень та забезпечення максимальної вигоди.

У статті запропоновано розв'язок поставленого завдання за допомогою методу динамічного програмування.

Мета статті — вирішити проблему вибору цифрової технології для спеціалізованого поліграфічного підприємства при обмежених вкладеннях з отриманням максимальної вигоди.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вибір технології є пріоритетним питанням при заснуванні чи модернізації видавничо-поліграфічних підприємств. У праці [1] подано порівняння та технологічні переваги цифрових технологій computer to print, computer to press, computer to plate. Проте питання впливу технологічної та предметної спеціалізації поліграфічних підприємств на отримання максимальної вигоди у праці [1] вивчено недостатньо.

Управляти вибором технологій можна методом перебору варіантів, що є досить працеємким процесом, за допомогою економічного аналізу (розрахунків показників чистого приведенного доходу, внутрішньої норми дохідності, індексу рентабельності, періоду окупності тощо), а також із застосуванням математичних методів (методу аналізу ієрархій, теорії гри, динамічного програмування тощо).

Одним із математичних методів, який можна використовувати для вибору технології у поліграфії, є метод аналізу ієрархій, який базується на побудові ієрархічної моделі, що показує зв'язок мети з її оціночними критеріями, аналізує критерії, їх взаємодію та вплив на модель загалом [2].

Проблема вибору технології є динамічним процесом, оскільки функціонує послідовно у просторі та часі, тому для її вирішення доцільно використовувати динамічне програмування. Цей метод застосовували як зарубіжні, так і вітчизняні вчені у розподілі інвестицій, ресурсів, заміні обладнання тощо.

Теоретичні основи методу динамічного програмування розробив Р. Беллман, вони базуються на його функціональних рівняннях та принципі оптимальності і застосовуються для розв'язання багатьох проектних, фінансових та економічних завдань [3].

Дослідженню операцій в економіці із застосуванням математичних методів, зокрема динамічного програмування, присвячені праці А. Коффмана, О. Гросса, Г. Куна, Дж. Неймана, Р. Аллена, К. Ланкастера, Т. Кормена, Д. Бертсекаса [4], Д. Батера [5], Н. Каруманчі [6].

Вагомий внесок у популяризацію динамічного програмування здійснили вчені, а саме: І. Акулич, Я. Гончаренко, при виборі інвестиційних проєктів — В. Хомяков, у виробничому плануванні — Г. Єфимова, О. Рудик [7], при оптимізації технологічних процесів — Л. Ладієва, в дослідженні інфокомунікаційних мереж — В. Безрук, Л. Глоба, О. Стрижак [8], в інформаційній технології та моделюванні бізнес-процесів — О. Томашевський, Г. Цегелик, М. Вітер, В. Дубук, у задачах розкрою матеріалів — Ю. Грицюк, в управлінні процесом перевезення матеріалів — О. Шевченко, А. Жуков [9], в оптимізації транспортної системи — В. Біліченко, В. Кружель. У поліграфії метод динамічного програмування застосувала авторка для розподілу устаткування між дільницями [10].

На практиці завдання вибору технології у поліграфії ускладнюється отриманням не тільки максимального прибутку, а й мінімізацією можливих витрат на впровадження запроєктованих рішень. При виборі з поміж декількох технологій

між підприємствами для досягнення максимальної вигоди необхідно вирішувати задачу у динаміці, тобто покроково.

Постановка завдання. Припустимо, що для технічного переоснащення трьох спеціалізованих поліграфічних підприємств до розгляду прийнято чотири варіанти технології $u = \{1, 2, 3, 4\}$. Перший варіант включає відсутність нової технології, тому не передбачає впровадження і закладений у завдання для можливості підприємств відмовитись від технічного переоснащення. Три наступні варіанти передбачають впровадження цифрових технологій computer to print, computer to press, computer to plate, які позначають узагальненою аббревіатурою СТР. Вони можуть бути впроваджені на підприємствах, які мають предметну спеціалізацію, а саме: з випуску акцидентної, журнальної та книжкової продукції $k = \{1, 2, 3\}$. Розглянемо випадок, якщо перше підприємство передбачає впровадження тільки технології computer to print, оскільки акцидентну продукцію друкують на малоформатних друкарських машинах з дублюванням на аркуші, що зменшує прогінний тираж у кілька разів дублювань. Тиражостійкість формних матеріалів технологій computer to press та computer to plate вимірюється тисячами відбитків, тому їх застосування для першого підприємства є недоцільним (знак «—» у табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні дані для вибору технології

Цифрова технологія (u)	Підприємство 1 (акцидентне*)		Підприємство 2 (журнальне**)		Підприємство 3 (книжкове)	
	Числові дані подано у млн грн					
	Витрати (c_1)	Прибуток (f_1)	Витрати (c_2)	Прибуток (f_2)	Витрати (c_3)	Прибуток (f_3)
1 відсутня	0	0	0	0	0	0
2 computer to print	0,4	0,8	0,4	1,6	0,4	0,8
3 computer to press	—	—	0,8	2,0	0,8	1,2
4 computer to plate	—	—	1,6	2,4	1,2	2,0

*Випуск малих форм поліграфічної продукції, до яких належать фірмові бланки, стікери, запрошення, листівки, візитки, етикетки, постери, афіші, рекламні оголошення малими тиражами до однієї тисячі відбитків.

**Випуск журналів, кольорових брошур (рекламних каталогів та проспектів).

Отриманий прибуток f_k від впровадження кожної технології на підприємствах перевищує сумарні витрати c_k на її впровадження та є різним. Виникає завдання з вибору технології для кожного підприємства з отриманням максимального прибутку f_{max} за умови, що загальні інвестиції становлять 2 млн грн.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес управління технологіями методом динамічного програмування включав дві стадії: попередню (умовну) та остаточну (безумовну), які здійснювали покроково. За принципом оптимальності Беллмана рішення, яке приймали на кожному кроці, задовольняло умови оптимальності

для будь-якого з можливих результатів попереднього кроку (умовно оптимальне управління) та функція мети була адитивною (прибутки за всі окремі кроки сумували).

Вибір оптимальної технології для підприємств проводили із застосуванням прямого та зворотного ходів обчислень, кожний з яких включав по два етапи (умовну та безумовну оптимізацію), які розбивали на кроки. Кожному підприємству відповідав крок, на якому приймали рішення. Наступний крок залежав від попереднього, оскільки підприємства ділили обмежений обсяг вкладень між собою. У цьому зв'язку проявлялась динамічність процесу вибору технології.

Прямий хід обчислень

Нехай u_k — номер технології, вибраної на k -ому кроці, $k = 1, 2, 3$;
 $Z_k(x_k)$ — прибуток, отриманий від вкладення у k -те підприємство x_k млн грн;
 $f_k(x_k, u_k)$ — прибуток, отриманий від вибору для k -ого підприємства технології з номером u_k ;

x_1 — вкладення у перше підприємство (відповідає першому кроку);

x_2 — вкладення у перше і друге підприємства (відповідає другому кроку);

x_3 — вкладення у три підприємства (відповідає третьому кроку).

Значення змінних $x_1, x_2 \in [0; 2]$ зі шкалою 0,4 одиниці, тобто вкладення можуть приймати значення 0, 0,4, 0,8, 1,2, 1,6, 2,0 млн грн. Вкладення в перше підприємство є меншими або рівними наступним, а саме: в перше і друге підприємства (відповідає другому кроку) $x_1 \leq x_2$. Тоді $x_3 = 2,0$ млн грн (третій крок).

Умовні екстремуми прибутку за k кроків позначили $Z_k^*(x_k)$, тоді основне функціональне рівняння Беллмана для $x_k = \varphi_k(x_{k-1}, u_k)$

$$Z_k^*(x_{k-1}) = \underset{u_k \in U}{extr}(f_k(x_{k-1}, u_k) + Z_{k+1}^*(x_k)). \quad (1)$$

При обчисленні чергового значення Z_k використовували рекурентні співвідношення. Для останнього N -ого кроку, за яким немає наступних кроків

$$Z_N^*(x_{N-1}) = \underset{u_N \in U}{extr}(f_N(x_{N-1}, u_N)). \quad (2)$$

Перший етап дослідження полягав у пошуку умовно оптимальних рішень. Дослідження поділено на три кроки, які відповідали кількості підприємств. На кожному кроці пошуку знайдено умовне рішення (умовний максимум), а саме: максимальний прибуток від вкладення коштів у впровадження однієї з чотирьох технологій на першому (табл. 2), першому та другому (табл. 3) та одночасно на трьох підприємствах (табл. 4). Вигода кожного наступного кроку враховувала прибутки та витрати, які отримували у попередньому кроці розрахунків. У третьому кроці дослідження усі кошти вкладали одночасно у три підприємства, тому пошук прибутку здійснювали тільки для максимального вкладення (2 млн грн).

Крок 1. На першому кроці (для першого підприємства) умовний екстремум прибутку $Z_1^*(x_1)$ знаходили за формулою $Z_1^*(x_1) = \max_{\substack{c_1(u_1) \leq x_1 \\ u_1 = 1,2}} \{f_1(x_1, u_1)\}$.

Таблиця 2

Вигода від виділення коштів першому підприємству при впровадженні перших двох варіантів технологій

Виділені кошти x_1 , млн грн	Прибуток (f_1), млн грн		Умовно оптимальні	
	$u_1=1$	$u_1=2$	прибуток $Z_1^*(x_1)$	технологія u_1^*
0	0	—*	0	1
0,4	0	0,8	0,8	2
0,8	0	0,8	0,8	2
1,2	0	0,8	0,8	2
1,6	0	0,8	0,8	2
2,0	0	0,8	0,8	2

*Знак «—» у табл. 2 означає неможливість отримання вигоди від впровадження другої технології на першому підприємстві, оскільки кошти для цього не виділяються. Аналогічні позначення наведено у табл. 3 для технологій 2, 3, 4 при вкладеннях, які є меншими за витрати.

Крок 2. Використовуючи умовно оптимальне управління для другого кроку, знаходили оптимальний обсяг вкладень для другого підприємства

$$Z_2^*(x_2) = \max_{\substack{c_2(u_2) \leq x_2 \\ u_2=1,2,3,4}} \{f_2(x_2, u_2) + Z_1^*(x_2 - c_2(u_2))\}, \quad (3)$$

$$Z_2(x_2) = f_2(x_2, u_2) + Z_1^*(x_2 - c_2(u_2)). \quad (4)$$

Таблиця 3

Вигода від впровадження чотирьох технологій при виділенні коштів першим двом підприємствам

Виділені кошти x_2 , млн грн	Прибуток (Z_2), млн грн				Умовно оптимальні	
	$u_2=1$	$u_2=2$	$u_2=3$	$u_2=4$	прибуток $Z_2^*(x_2)$	технологія u_2^*
0	0+0=0	—	—	—	0	1
0,4	0+0,8=0,8	1,6+0=1,6	—	—	1,6	2
0,8	0+0,8=0,8	1,6+0,8=2,4	2,0+0=2,0	—	2,4	2
1,2	0+0,8=0,8	1,6+0,8=2,4	2,0+0,8=2,8	—	2,8	3
1,6	0+0,8=0,8	1,6+0,8=2,4	2,0+0,8=2,8	2,4+0=2,4	2,8	3
2,0	0+0,8=0,8	1,6+0,8=2,4	2,0+0,8=2,8	2,4+0,8=3,2	3,2	4

Крок 3. Останній крок прямого ходу обчислень полягав у визначенні максимального прибутку при максимальному вкладенні 2 млн грн.

$$Z_3^*(x_3) = \max_{\substack{c_3(u_3) \leq x_3 \\ u_3=1,2,3,4}} \{f_3(x_3, u_3) + Z_2^*(x_3 - c_3(u_3))\}, \quad (5)$$

$$Z_3(x_3) = f_3(x_3, u_3) + Z_2^*(x_3 - c_3(u_3)). \quad (6)$$

Таблиця 4

Вигода від максимального вкладення у три підприємства

Виділені кошти x_3 , млн грн	Прибуток (Z_3), млн грн				Умовно оптимальні	
	$u_3=1$	$u_3=2$	$u_3=3$	$u_3=4$	прибуток $Z_3^*(x_3)$	технологія u_3^*
2,0	0+3,2=3,2	0,8+2,8=3,4	1,2+2,8=4,0	2,0+2,4=4,4	4,4	4

На кожному кроці знаходили умовний максимальний прибуток та технологію, яка його забезпечувала (умовно оптимальне рішення).

Другий етап дослідження полягав у пошуку безумовного рішення з вибору технології для кожного підприємства, яке визначали за схемою:

$$x_3 \rightarrow u_3^* \rightarrow x_2 \rightarrow u_2^* \rightarrow x_1 \rightarrow u_1^* \rightarrow x_0^*. \quad (7)$$

З табл. 4 при виділенні 2 млн грн трьом підприємствам максимальний прибуток 4,4 млн грн отримали при впровадженні на третьому підприємстві четвертої технології. З табл. 1 витрати на впровадження четвертої технології на третьому підприємстві становлять 1,2 млн грн, тоді для впровадження технологій на першому та другому підприємствах залишилось: $x_2^* = x_3^* - c_3 = 2,0 - 1,2 = 0,8$ млн грн.

З табл. 3 для залишкових коштів 0,8 млн грн знаходили технологію для впровадження на другому підприємстві, а саме другу — computer to print. Впровадження другої технології потребує 0,4 млн грн затрат. Отже, для технічного переоснащення першого підприємства залишилось $0,8 - 0,4 = 0,4$ млн грн. При таких вкладеннях у перше підприємство можна отримати прибуток 0,8 млн грн (табл. 2), що відповідає впровадженню також другої технології. Отже, на першому підприємстві потрібно впроваджувати технологію computer to print.

Згідно зі схемою (7) отримали безумовне оптимальне рішення: x_3 (вкладення 2 млн грн) $\rightarrow u_3^*$ (4 технологія) $\rightarrow x_2$ (витрати 1,2 млн грн, залишилось 0,8 млн грн) $\rightarrow u_2^*$ (2 технологія) $\rightarrow x_1$ (витрати 0,4 млн грн, залишилось 0,4 млн грн) $\rightarrow u_1^*$ (2 технологія) $\rightarrow x_0^*$ (прибуток $2,0 + 1,6 + 0,8 = 4,4$ млн грн).

Для перевірки отриманих даних здійснили розв'язок завдання з вибору технології зворотним ходом обчислень.

Зворотний хід обчислень

Нехай y_3 — вкладення у третє підприємство (відповідає кроку номер три);

y_2 — вкладення у третє та друге підприємства (відповідає другому кроку);

y_1 — вкладення у три підприємства (відповідає першому кроку).

Значення змінних $y_3, y_2 \in [0; 2]$ зі шкалою 0,4 одиниці. Вкладення у третє підприємство є меншими або рівними наступним $y_3 \leq y_2$ (відповідає другому кроку). Тоді $y_1 = 2,0$ млн грн (перший крок).

Крок 3. Зворотний хід обчислень починали зі знаходження умовного екстремуму прибутку $Z_3^*(y_3)$ при впровадженні технологій на третьому підприємстві (табл. 5).

Таблиця 5

Вигода від виділення коштів третьому підприємству при впровадженні чотирьох технологій

Виділені кошти y_3 , млн грн	Прибуток (Z_3), млн грн				$Z_3^*(y_3)$	u_3^*
	$u_3=1$	$u_3=2$	$u_3=3$	$u_3=4$		
0	0	—	—	—	0	1
0,4	0	0,8	—	—	0,8	2
0,8	0	0,8	1,2	—	1,2	3
1,2	0	0,8	1,2	2,0	2,0	4
1,6	0	0,8	1,2	2,0	2,0	4
2,0	0	0,8	1,2	2,0	2,0	4

$$Z_3^*(y_3) = \max_{\substack{c_3(u_3) \leq y_3 \\ u_3=1,2,3,4}} \{f_3(y_3, u_3)\}, Z_3(y_3) = f_3(y_3, u_3). \tag{8}$$

Значення $y_3 \in [0, 2]$.

Крок 2. Застосовуючи умовно оптимальне управління у другому кроці дослідження, знаходили оптимальний обсяг вкладень для другого підприємства (табл. 6).

Таблиця 6

Вигода від виділення коштів третьому та другому підприємствам при впровадженні чотирьох технологій

Виділені кошти y_2 , млн грн	Прибуток (Z_2), млн грн				$Z_2^*(y_2)$	u_2^*
	$u_2=1$	$u_2=2$	$u_2=3$	$u_2=4$		
0	0+0=0	—	—	—	0	1
0,4	0+0,8=0,8	1,6+0=1,6	—	—	1,6	2
0,8	0+1,2=1,2	1,6+0,8=2,4	2,0+0=2,0	—	2,4	2
1,2	0+2,0=2,0	1,6+1,2=2,8	2,0+0,8=2,8	—	2,8	2 або 3
1,6	0+2,0=2,0	1,6+2,0=3,6	2,0+1,2=3,2	2,4+0=2,4	3,6	2
2,0	0+2,0=2,0	1,6+2,0=3,6	2,0+2,0=4,0	2,4+0,8=3,2	4,0	3

$$Z_2^*(y_2) = \max_{\substack{c_2(u_2) \leq y_2 \\ u_2=1,2,3,4}} \{F_2(y_2, u_2) + Z_3^*(y_3)\}, y_3 = y_2 - c_2(u_2), \tag{9}$$

$$Z_2(y_2) = F_2(y_2, u_2) + Z_3^*(y_2 - c_2(u_2)). \tag{10}$$

Крок 1. Останній крок планували так, щоб управління на цьому кроці принесло найбільшу вигоду. Усі кошти вкладали одночасно у три підприємства (табл. 7), тому пошук прибутку здійснювали тільки для максимального вкладення ($y_1=2$ млн грн).

$$Z_1^*(y_1) = \max_{\substack{c_1(u_1) \leq y_1 \\ u_1=1,2,3,4}} \{f_1(y_1, u_1) + Z_2^*(y_2)\}, \quad Z_1(y_1) = f_1(y_1, u_1) + Z_2^*(y_1 - c_1(u_1)). \quad (11)$$

Таблиця 7

Вигода від виділення коштів трьома підприємствами

Виділені кошти y_j , млн грн	Прибуток (Z_j) (u_k), млн грн		$Z_j^*(y_j)$	u_j^*
	$u_j=1$	$u_j=2$		
2,0	0+4,0=4,0	0,8+3,6=4,4	4,4	2

Безумовне оптимальне рішення визначали за схемою

$$y_0^* \rightarrow u_1^* \rightarrow y_1^* \rightarrow u_2^* \rightarrow y_2^* \rightarrow u_3^* \rightarrow y_3^*. \quad (12)$$

З табл. 7 при виділенні 2 млн грн трьома підприємствами максимальний сумарний прибуток 4,4 млн грн отримали при впровадженні на першому підприємстві другої технології. Тоді при впровадженні на першому підприємстві другої технології можна отримати 0,8 млн грн прибутку при витратах 0,4 млн грн (табл. 1). Тому другому та третьому підприємствам залишиться 2,0–0,4=1,6 млн грн. Для залишкових коштів визначили оптимальну технологію для другого підприємства — другу (крок 2, табл. 6), яка забезпечує прибуток 1,6 млн грн з витратами 0,4 млн грн. Після впровадження другої технології на другому підприємстві залишиться 1,6–0,4=1,2 млн грн, тому оптимальна технологія для третього підприємства — це четверта (крок 3, табл. 5), яка забезпечує прибуток 2,0 з витратами 1,2 млн грн (табл. 1). Сумарний прибуток становить 0,8+1,6+2,0 = 4,4 млн грн (табл. 1).

Схематичне подання результатів безумовного оптимального рішення згідно з (12): y_0^* (вкладення 2 млн грн) $\rightarrow u_1^*$ (2 технологія) $\rightarrow y_1^*$ (витрати 0,4 млн грн, залишилось 1,6 млн грн) $\rightarrow u_2^*$ (2 технологія) $\rightarrow y_2^*$ (витрати 0,4 млн грн, залишилось 1,2 млн грн) $\rightarrow u_3^*$ (4 технологія) $\rightarrow y_3^*$ (витрати 1,2, залишилось 0).

Результати, отримані за зворотним ходом, аналогічні результатам прямого ходу розрахунків та подані у табл. 8.

Таблиця 8

Результати з вибору технологій спеціалізованими підприємствами при обмеженому вкладенні

№ п/п, спеціалізація підприємства	Технологія	Прибуток, млн грн	Витрати, млн грн
1 акцидентне	2 computer to print	0,8	0,4
2 журнальне	2 computer to print	1,6	0,4
3 книжкове	4 computer to plate	2,0	1,2
Сума:		4,4	2,0

Отже, усі спеціалізовані підприємства не відмовляються від впровадження цифрових технологій (перший варіант не вибрано жодним підприємством). При

обмежених вкладеннях 2 млн грн на першому та другому підприємствах необхідно впроваджувати другу технологію (computer to print). Третю технологію не вигідно впроваджувати на жодному з підприємств, четверту (computer to plate) — на третьому підприємстві. Сумарні витрати за такого розподілу технологій по підприємствах становлять 2,0 млн грн, що не перевищує вкладень, тоді сумарний прибуток від впровадження становитиме 4,4 млн грн.

Висновки. Вибрано цифрові технології для поліграфічних підприємств, які спеціалізуються з випуску акцидентної, журнальної та книжкової продукції, із застосуванням методу динамічного програмування. Вибір цифрової технології проведено при обмежених вкладеннях з врахуванням прибутку та витрат на впровадження двома способами обчислень: за прямим та зворотним ходом. На підприємствах з випуску акцидентної та журнальної продукції вигідно впроваджувати технологію computer to print, на підприємстві, яке спеціалізується з випуску книжкової продукції, — технологію computer to plate.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Практикум із проектування видавничо-поліграфічних підприємств : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів. Львів : Укр. акад. друкарства, 2022. 116.
2. Кульчицька Х. Б., Предко Л. С. Застосування методу аналізу ієрархій при виборі проекту у поліграфії. Поліграфія і видавнича справа. 2018. 1 (75). 51–60. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs_2018_1_7.
3. Bellman R. E., Dreyfus S. E. Applied Dynamic Programming. Princeton University Press, 1962. 390.
4. Bertsekas D. Dynamic Programming and Optimal Control. 4th Edition. 2017. Vol. I. 576.
5. Bather J. A. Decision Theory: An Introduction to Dynamic Programming and Sequential Decisions. 1st Edition. New York : John Wiley & Sons, 2000. 204.
6. Narasimha Karumanchi. Algorithm Design Techniques: Recursion, Backtracking, Greedy, Divide and Conquer, and Dynamic Programming. CareerMonk Publications, 2018. 488.
7. Сфимова Г. О., Рудик О. Г. Двокритеріальна задача виробничого планування. Право, економіка та управління: генезис, сучасний стан та перспективи розвитку : матер. Міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. 20-річчю економіко-правового ф-ту ОНУ імені І. І. Мечникова. Одеса : ОНУ, 14–15 вересня 2018. 1. 74–179. URL: <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/18695>.
8. Наукоємні технології оптимізації та керування в інфокомунікаційних мережах : монографія / під ред. В. М. Безрука, Л. С. Глоби, О. Є. Стрижака. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 194.
9. Шевченко О. К., Жуков А. В. Математична модель управління процесом перевезення матеріалів. Вісник ХДУ. Серія Економічні науки. 2020. 37. 100–104. doi: 10.32999/ksu2307-8030/2020-37-18.
10. Кульчицька Х. Б. Вирішення завдання розподілу устаткування із застосуванням методу рекурентних співвідношень. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2021. 1 (62). 87–94. doi: 10.32403/1998-6912-2021-1-62-87-94.

REFERENCES

1. Praktykum iz proiektuvannia vydavnycho-polihrafichnykh pidpriemstv : navch. posib. dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv. Lviv : Ukr. akad. drukarstva, 2022 (in Ukrainian).
2. Kulchytska, Kh. B., & Predko, L. S. (2018). Zastosuvannia metodu analizu iierarkhii pry vybori proiektu u polihrafii: Polihrafia i vydavnycha sprava, 1 (75), 51–60. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs_2018_1_7 (in Ukrainian).
3. Bellman, R. E., & Dreyfus, S. E. (1962). Applied Dynamic Programming. Princeton University Press (in English).
4. Bertsekas, D. (2017). Dynamic Programming and Optimal Control. 4th Edition, I. 576 (in English).
5. Bather, J. A. (2000). Decision Theory: An Introduction to Dynamic Programming and Sequential Decisions. 1st Edition. New York : John Wiley & Sons (in English).
6. Narasimha, Karumanchi. (2018). Algorithm Design Techniques: Recursion, Backtracking, Greedy, Divide and Conquer, and Dynamic Programming. CareerMonk Publications (in English).
7. Yefymova, H. O., & Rudyk, O. H. (14–15 veresnia 2018). Dvokryterialna zadacha vyrobnychoho planuvannia. Pravo, ekonomika ta upravlinnia: henezys, suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku : mater. Mizhnar. nauk.-prakt. konf., prysviach. 20-richchiu ekonomiko-pravovoho f-tu ONU imeni I. I. Mechnykova. Odesa : ONU, 1, 74–179. URL: <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/18695> (in Ukrainian).
8. Naukoiemni tekhnolohii optymizatsii ta keruvannia v infokomunikatsiinykh merezhakh / pid red. V. M. Bezruka, L. S. Hloby, O. Ye. Stryzhaka. Kyiv : Instytut obdarovanoi dytyny NAPN Ukrainy, 2019 (in Ukrainian).
9. Shevchenko, O. K., & Zhukov, A. V. (2020). Matematychna model upravlinnia protsesom perevezennia materialiv: Visnyk KhDU. Serii Ekonomichni nauky, 37, 100–104. doi: 10.32999/ksu2307-8030/2020-37-18 (in Ukrainian).
10. Kulchytska, Kh. B. (2021). Vyrishennia zavdannia rozpodilu usatkuvannia iz zastosuvanniam metodu rekurentnykh spivvidnoshen: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 1 (62), 87–94. doi: 10.32403/1998-6912-2021-1-62-87-94 (in Ukrainian).

doi: 10.32403/0554-4866-2023-1-85-123-133

SELECTION OF TECHNOLOGY FOR PRINTING ENTERPRISES WITH THE HELP OF DYNAMIC PROGRAMMING

Kh. B. Kulchytska¹, M. R. Semeniv²

¹*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

²*Lviv Polytechnic National University,
28a, Bandery St., Lviv, 79013, Ukraine
kulchytska422@gmail.com
mariia.r.semeniv@lpnu.ua*

Digital technologies are used to produce a wide variety of products – from forms to multi-volume book editions in printing industry. Specialization of enterprises, both subject-wise and technologically, helps reduce product prices and increase profits. The task of selecting a technology for a specific specialized enterprise becomes more complicated if there are several enterprises as well as technologies, and it is also necessary to make a choice under the condition of limited investments and ensuring maximum benefit. This problem is solved using the method of dynamic programming, that is, in dynamics, incrementally with the use of Bellman's functional equations.

The paper explores four options: refusal to implement the technology and three digital technologies, namely computer to print, computer to press, computer to plate, which can be implemented at three printing enterprises that have subject specialization, namely, the production of accidental, magazine and book products.

The selection of technologies for specialized enterprises is carried out taking into account the profit and costs of implementation by two methods of calculation: forward and backward, each of which made conditionally optimal and unconditionally optimal decisions. The number of steps is equal to the number of enterprises that choose the technology. The calculation is carried out in two ways, which gives similar results: it is beneficial to implement computer to print technology at enterprises producing non-fiction and magazine products, and computer to plate technology at an enterprise specializing in the production of book products.

The optimal digital technology for specialized printing enterprises is determined using dynamic programming, which ensures the maximum benefit with costs equal to the proposed investments.

Keywords: *printing industry, choice of digital technology, dynamic programming, Bellman's functional equations.*

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023.

Received 20.04.2023.