

Ігор ІВАНЕЙКО¹,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-8873-6930

Михайло ІВАНЕЙКО¹,

аспірант

ORCID: 0000-0002-5390-0446

Сергій РАСПУТНИЙ¹,

аспірант

ORCID: 0009-0007-1011-4174

Анастасія ОСИПОВА²,

Ph.d., доцент

ORCID: 0000-0001-9027-116X

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

²Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

СКОРОЧЕННЯ ТЕРМІНІВ БУДІВНИЦТВА ШЛЯХОМ УПОРЯДКУВАННЯ ПЕРІОДІВ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Будівництво потребує удосконалення принципів оптимізації термінів спорудження у разі відхилення їх від нормативного значення. Щоб виконати це завдання, спершу треба мати відомості про потік, склад і сумісність бригад, а пізніше застосовувати відомі і нові організаційно-технологічні способи для скорочення терміну будівництва. У статті пропонується визначити дестабілізуючі чинники та оптимізаційні рішення неритмічних потоків.

Дестабілізуючі чинники визначаються як на будівництві загалом, так і на окремих елементах – оцінюється відхилення трудомісткості (тривалості) роботи і наявність локальних та глобальних екстремумів у системі. Наявність локальних мінімумів у графіку будівництва викликає простоти у графіку сіткового планування (Critical Path Method), збільшення періоду розгортання і згорання потоків, нерівномірне споживання трудового ресурсу.

Іншою проблемою у будівництві є відсутність достатньої кількості трудового ресурсу. Тому задача виконується за багатокритеріальною оптимізацією з ефективністю за Парето. Для вирішення задачі ліквідації локальних мінімумів наведено способи впливу на тривалості виконання та їхній вплив на затрати ресурсу. Варіантне проєктування ліквідації локальних мінімумів продемонстровано на діаграмі. Другим етапом оптимізації є визначення критерію оптимізації та максимального використання однотипних бригад паралельним методом у матричній системі. Для паралельного методу інтервал перебування наявних сумісних бригад збільшується.

Внаслідок двоетапної оптимізації неритмічного потоку отримали ліквідацію локальних екстремумів, скорочення терміну будівництва (потокowego – від 153 до 90 днів, сіткового планування – від 128 до 90 днів), майже однаковий термін використання монтажних і комплексних бригад (В – 73, С...D – 74, Е – 79 днів), зменшення кількості бригад на об'єкті (від 6 до 5 бригад).

Ключові слова: *ресурсозбереження, локальні екстремуми, періоди розгортання та згорання потоків, методи організації робіт, оптимізація.*

Вступ.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Будівництво охоплює роботи, які за трудомісткістю і терміном виконання потоковим методом можуть мати збільшені періоди розгортання та згорання потоків і відрізнятися величиною [5]. За наявності цих чинників потоки належать до неритмічних [7, 10]. Дестабілізуючі чинники у системі – наявність локальних екстремумів (рис. 1), які вирішуються оптимальними методами [6, 9]. Крім того, на будівництві є обмеження щодо трудового ресурсу.

Реалізувати вказане завдання [8] з локальними екстремумами та обмеженням ресурсу для однотипних бригад ми плануємо [2, 3]:

- об'єднанням робіт суміщенням і паралельно-поточним виконанням [4, 12];
- досягненням максимального використання наявних однотипних бригад паралельними методами [13].

Мета дослідження полягає у максимальному застосуванні наявного трудового ресурсу шляхом ліквідації локальних екстремумів робіт і використанні бригад методами суміщення, паралельним і паралельно-поточним.

Матеріали та методи.

Нехай у системі є локальні екстремуми (рис. 1). Наявність локальних мінімумів впливає на простоту ресурсів під час сіткового планування, збільшення періодів розгортання і згорання потоку, нерівномірне споживання ресурсів.

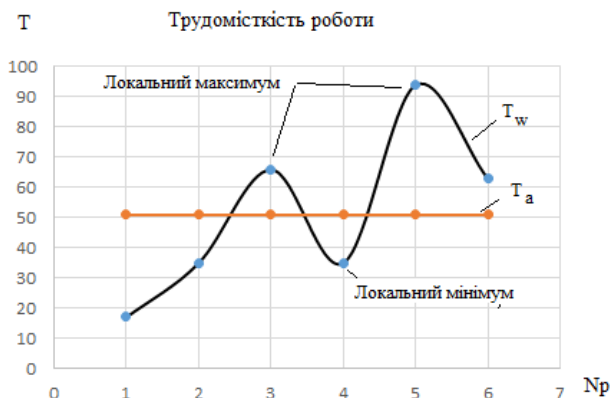


Рис. 1. Діаграма виконання робіт з локальними екстремумами:
 T_a і T_w – трудомісткість (тривалість) робіт та середня трудомісткість;
 T – тривалість роботи; Nr – номер роботи

Для оптимального рішення треба визначити критерії. За функцію мети пропонуємо як загально визначені критерії (тривалість виконання робіт, витрати), так і нові (зменшення періодів розгортання і згорання потоку, зменшення затрат ресурсу). Задача може вирішуватись як багатокритеріальна з ефективністю за Парето. В нашому випадку – кількість бригад і тривалість робіт. Використання того чи іншого критерію у задачі оптимізації залежить від діаграми робіт.

Вплинути на діаграму виконання робіт системи можливо за умови:

- збільшення (зменшення) ресурсу і продуктивності машин;

- сумісного виконання робіт;
- перерозподілу між бригадами обсягів робіт;
- паралельного використання наявних бригад;
- використання робіт на декількох об'єктах.

Візуалізація визначених чинників для діаграми виконується варіантним проєктуванням. Для визначеного варіанта встановлюється критерій і виконується скорочення терміну будівництва паралельним методом у ранговій матриці (ОВРР).

Результати та обговорення.

Оптимізацію здійснюємо на прикладі (табл. 1) [10].

Таблиця 1

Вихідні дані і розрахунок періодів потоків

Захватки	Технологічні процеси та ритми роботи бригад, t_{ij}						Сума
	Земляні роботи	Монтаж фундаментів	Монтаж каркаса та стін	Влаштування покрівлі	Монтаж технологічного устаткування	Опоряджувальні роботи	
	1	2	j=3	4	5	n=6	
1	1	10	12	5	10	12	50
2	3	6	10	6	20	8	53
3	4	5	6	4	8	18	45
i=4	3	3	8	3	11	9	37
5	1	2	14	2	17	7	43
6	2	4	7	8	12	4	37
m=7	3	1	9	7	16	5	41
Сума	17	31	66	35	94	63	306
T^d	1		10	38	5	36	90
T^c	15	45	7	64	5		136

Для сіткового планування (Critical Path Method) [11] термін спорудження – 128 днів (табл. 2), а для потокового графіку –

$$T = T^d + \sum t_{in} = 90 + 63 = 153, \quad (1)$$

де T – термін будівництва; T^d – період розгортання потоків; $\sum t_{in}$ – термін останньої роботи.

Потоки мають екстремуми під час виконання двох умов:

$$T^d - \sum_{j=1}^{n-1} t_{1j} = 90 - (50 - 12) > 0 \quad i \quad T^c - \sum_{j=2}^n t_{mj} = 126 - (43 - 3) > 0. \quad (2)$$

Роботи у системі можуть розвиватися (період розгортання T^d дорівнює сумі перших робіт без останньої роботи $\sum_{j=1}^{n-1} t_{1j}$) або згорнутися (період згортання T^c дорівнює сумі робіт на m-ій захватці без першої роботи $\sum_{j=2}^n t_{mj}$).

Таблиця 2

Матричний розрахунок сіткового графіка

	A	B	C	D	E	F
I	$\begin{smallmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 1 & 10 \\ 1 & 11 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 11 & 12 \\ 11 & 23 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 23 & 5 \\ 23 & 28 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 28 & 10 \\ 28 & 38 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 38 & 12 \\ 65 & 50 \\ 77 & 77 \end{smallmatrix}$
II	$\begin{smallmatrix} 1 & 4 \\ 14 & 3 \\ 17 & 17 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 11 & 17 \\ 17 & 6 \\ 23 & 23 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 23 & 10 \\ 23 & 33 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 33 & 39 \\ 33 & 6 \\ 39 & 39 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 39 & 59 \\ 39 & 20 \\ 59 & 59 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 59 & 8 \\ 77 & 67 \\ 85 & 85 \end{smallmatrix}$
III	$\begin{smallmatrix} 4 & 8 \\ 39 & 4 \\ 43 & 43 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 17 & 22 \\ 43 & 5 \\ 48 & 48 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 33 & 39 \\ 48 & 6 \\ 54 & 54 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 39 & 43 \\ 55 & 4 \\ 59 & 59 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 59 & 67 \\ 59 & 8 \\ 67 & 67 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 67 & 18 \\ 85 & 85 \\ 103 & 103 \end{smallmatrix}$
IV	$\begin{smallmatrix} 8 & 11 \\ 48 & 3 \\ 51 & 51 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 22 & 25 \\ 51 & 3 \\ 54 & 54 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 39 & 47 \\ 54 & 8 \\ 62 & 62 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 47 & 50 \\ 64 & 3 \\ 67 & 67 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 67 & 78 \\ 67 & 11 \\ 78 & 78 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 85 & 94 \\ 103 & 94 \\ 112 & 112 \end{smallmatrix}$
V	$\begin{smallmatrix} 11 & 12 \\ 59 & 1 \\ 60 & 60 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 25 & 27 \\ 60 & 2 \\ 62 & 62 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 47 & 61 \\ 62 & 14 \\ 76 & 76 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 61 & 63 \\ 76 & 2 \\ 78 & 78 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 78 & 95 \\ 78 & 17 \\ 95 & 95 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 95 & 102 \\ 112 & 102 \\ 119 & 119 \end{smallmatrix}$
VI	$\begin{smallmatrix} 12 & 14 \\ 74 & 2 \\ 76 & 76 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 27 & 31 \\ 76 & 4 \\ 80 & 80 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 61 & 68 \\ 80 & 7 \\ 87 & 87 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 68 & 76 \\ 87 & 8 \\ 95 & 95 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 95 & 107 \\ 95 & 12 \\ 107 & 107 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 107 & 111 \\ 119 & 111 \\ 123 & 123 \end{smallmatrix}$
VII	$\begin{smallmatrix} 14 & 17 \\ 87 & 3 \\ 90 & 90 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 31 & 32 \\ 90 & 1 \\ 91 & 91 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 68 & 77 \\ 91 & 9 \\ 100 & 100 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 77 & 84 \\ 100 & 7 \\ 107 & 107 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 107 & 123 \\ 107 & 16 \\ 123 & 123 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 123 & 128 \\ 123 & 5 \\ 128 & 128 \end{smallmatrix}$

Для вихідних даних виконуємо візуалізацію діаграми виконання робіт (рис. 2). Відповідно до діаграми маємо локальні мінімуми у роботах 4 і максимуми 3 і 5.

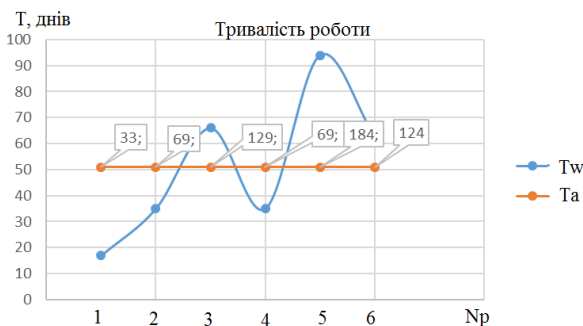


Рис. 2. Діаграма термінів виконання робіт (значення наведені у відсотках)

Ефективно вирішити задачу з ліквідації локальних екстремумів можна шляхом:
 А. Збільшення (зменшення) ресурсу і продуктивності процесу – критерієм ефективності – мінімуму показника розгортання потоку (потік розгортається):

$$T^d \rightarrow \min. \quad (3)$$

Для жадібного алгоритму [1]:

$$\forall_{j=2, \dots, n} T_{j-1}^{op} = T_j^{op} \leq T_j^{op}, \quad (4)$$

де T_j^{op} – термін виконання робіт j-ю бригадою.

Б. Варіантне просектування із суміщенням робіт та перерозподілом обсягів робіт між бригадами для наявної системи (I) (рис. 3). Вилучаємо з виконання роботу з локальним мінімумом – влаштування покриття:

II – суміщенням робіт C і D послідовним методом: бригада неперервно освоює захватку; захватки повинні давати закінчений конструктивний елемент по вертикалі (ярус). Тривалість роботи C і D дорівнює:

$$T_{CD} = T_{j=3} + T_{j=4} = 65 + 35 = 101 \text{ день} \quad (5)$$

Нова система робіт виконується з глобальним максимумом. Кількість бригад – 5 штук.

III–V – паралельно-поточне виконання робіт передбачає об'єднання різних захваток у часі з перерозподілом обсягів робіт між бригадами. Кількість бригад – 6 штук.

III – паралельні роботи C, D, E. Два крани. Отримання закінченого елемента – змонтованого технологічного обладнання на надземній частині. Тривалості робіт для бригад C, D, E прийняті однакові.

IV – паралельні роботи B, C, D. Два крани. Об'єднання монтажних робіт.

V – паралельні роботи C, D. Один кран. Отримання закінченого елемента – надземної частини.

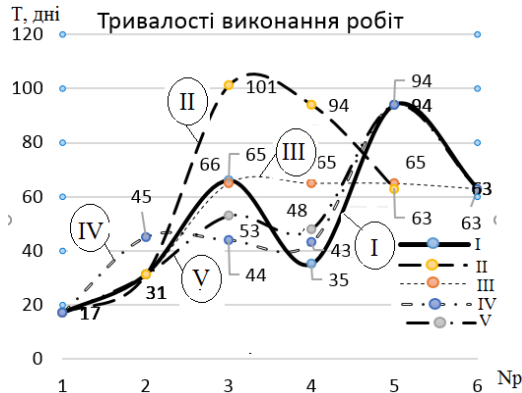


Рис. 3. Варіанти ліквідації локального мінімуму (I): II – суміщенням робіт C...D; паралельно-поточним виконанням робіт: III – C...D...E; IV – B...C...D; V – C...D

В. Виконання робіт на декількох об'єктах – робота 4 (C) у сітковому плануванні за розрахунком Critical Path Method (табл. 2) має перерви у часі виконання робіт, які рівні для ранніх і пізніх закінчень робіт:

$$\Delta T_4^p = t_{74}^{p3} - t_{14}^{pn} - T_4 = 77 - 11 - 35 = 31 \text{ день};$$

$$\Delta T_4^n = t_{74}^{n3} - t_{14}^{pn} - T_4 = 100 - 11 - 35 = 54 \text{ дні};$$

де ΔT_4^p і ΔT_4^n – можливі перерви між j=4-ої роботи 4 за ранніми і пізніми закінченнями у сітковому плануванні; t_{74}^{p3} і t_{74}^{n3} – ранніми і пізніми закінченнями j=4-ої роботи на m=7 захватці; t_{14}^{pn} – ранніми початками j= 4-ої роботи на i=1 захватці; $T_4=35$ днів – тривалість j=4-ої роботи, табл. 1. Для скорочення терміну виконання робіт без простою ресурсу (від 153 до 128 днів), за наявності декількох об'єктів, для бригади треба розробити графік виконання робіт на них.

Встановлюємо раціональний варіант проєктування – суміщене виконання робіт C і D – діаграма має глобальний максимум, тривалість виконання робіт – 133 дні,

кількість бригад – 5 штук. Потрібно скоротити терміни будівництва та виконання підземної частини.

Впливи на терміни будівництва мають періоди розгортання, які залежать від першої і останньої роботи. Для скорочення будівництва до глобального максимуму треба зменшити до нього перші роботи і останні після [4] (табл. 3).

Таблиця 3

Оптимізація тривалості будівництва паралельним методом

Роботи	Варіанти	Ранги і тривалості робіт											Сума	T ^p	Початок	Закінчення
		1					k					r				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
A	1	1	3	4	3	1	2	3					17	0	0	17
B	1		10	6	5	3	2	4	1				31	1	1	31
	2		5	6	5	3	2	4	1				26	1	1	27
	3*			...	26	10	6	9	11	9			72	1	1	73
C...D	1			17	16	10	11	16	15	16			101	10	11	112
	2			8	13	15	9	14	16	14	8		97	5	6	103
	3			8	13	10	6	9	11	9	8		74	5	6	80
E	1			0	10	20	8	11	17	12	16		94	23	34	128
	2		5	8	13	15	10	13	16	14	8		102	8	1	103
	3		5	8	13	10	6	9	11	9	8		79	8	1	80
F	1					12	8	18	9	7	4	5	63	36	70	133
	2					12	8	18	9	7	4	5	63	31	45	108
	3					12	8	18	9	7	4	5	63	13	27	90

5 – додаткова робота E на 2 ранзі варіанта 2 і реалізація її на 2 ранзі роботи B варіанта 2; 3* – додаткові роботи 10, 6, 9, 11, 9 – затримка роботи B на рангах 5... 9 і реалізація на рангах 5... 9 роботи C...D, E варіанта 3

Критерій ефективності:

$$T^{dk} = \sum_{j=2}^k T_j^d \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$T^{ck} = \sum_{j=k}^{n-1} T_j^c \rightarrow \min$$

де T_j^d і T_j^c – період розгортання та згортання j-ої роботи; k – робота з глобальним максимумом.

Паралельно-поточний метод виконання декількох робіт дає змогу мати однакове закінчення на захватці. У матриці паралельно-поточний метод застосований для робіт C...D і E. Запрошення бригад E на об'єкт виконується скоріше (5 і 8 днів) для паралельного виконання робіт B і C...D на першій захватці у дві зміни, а звільнення бригади C...D (8 днів) – пізніше для паралельного виконання роботи E на останній захватці у дві зміни.

У третьому варіанті для роботи B визначається термін закінчення робіт. Терміни виконання додаткових робіт B, C...D і E на 5 ... 9 ранзі у часі збігаються. У третьому варіанті додаткова робота B на ранзі дорівнює:

$$dT_k = (t_{k3} + t_{k4}) / 3. \quad (7)$$

Для 3-го варіанта у матриці виконано сіткове планування (табл. 4).

Таблиця 4

Матричний розрахунок сіткового графіка (варіант 3 таблиці 3)

Р	A	B	C...D	E	F
I	$\begin{smallmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 5 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 6 & 8 \\ 6 & 14 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 14 & 13 \\ 14 & 27 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 27 & 12 \\ 27 & 39 \end{smallmatrix}$
II	$\begin{smallmatrix} 1 & 3 \\ 15 & 18 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 6 & 12 \\ 18 & 24 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 14 & 13 \\ 16 & 29 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 27 & 10 \\ 29 & 39 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 39 & 47 \\ 39 & 47 \end{smallmatrix}$
III	$\begin{smallmatrix} 4 & 8 \\ 22 & 26 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 12 & 5 \\ 26 & 31 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 27 & 10 \\ 31 & 41 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 37 & 6 \\ 41 & 47 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 47 & 18 \\ 47 & 65 \end{smallmatrix}$
IV	$\begin{smallmatrix} 8 & 11 \\ 36 & 39 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 17 & 3 \\ 39 & 42 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 37 & 6 \\ 42 & 48 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 43 & 9 \\ 48 & 57 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 65 & 74 \\ 65 & 74 \end{smallmatrix}$
V	$\begin{smallmatrix} 11 & 12 \\ 46 & 46 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 20 & 2 \\ 46 & 48 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 43 & 9 \\ 48 & 57 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 52 & 11 \\ 57 & 68 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 74 & 81 \\ 74 & 81 \end{smallmatrix}$
VI	$\begin{smallmatrix} 12 & 14 \\ 51 & 53 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 22 & 4 \\ 53 & 57 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 52 & 11 \\ 57 & 68 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 63 & 9 \\ 68 & 77 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 81 & 85 \\ 81 & 85 \end{smallmatrix}$
VII	$\begin{smallmatrix} 14 & 17 \\ 64 & 67 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 26 & 1 \\ 67 & 68 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 63 & 9 \\ 68 & 77 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 72 & 8 \\ 77 & 85 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 85 & 90 \\ 85 & 90 \end{smallmatrix}$

Для графіка виконання робіт некритичні роботи сіткового планування повинні виконуватись за ранніми початками.

Висновки. У статті розглянуто двостадійну оптимізацію системи з локальними екстремумами та обмеженнями по ресурсу за наявності технологічно однакових бригад. Для варіантного проєктування отримано графіки виконання робіт. За матрицею поточного виконання робіт збільшені терміни перебування бригад для паралельного виконання робіт. У наведеному прикладі скорочено терміни будівництва, ліквідовано простой ресурсу, скорочено кількість бригад.

Список літератури:

1. Самоненко І.В. (2025). Ефективне планування розкладу для автобусних маршрутів з зоною накладання. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 23, 250–263. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-22)
2. Савйовский В.В., Броневицкий А.П., Каржинерова Е.Г. (2017). Алгоритм анализа организационно-технологических решений восстановления стен при ревитализации промышленных зданий. *Будівельне виробництво*, 62(1), 5–10. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/buvu_2017_62%281%29_4
3. Мудрий І.Б., Вибранець Ю.Ю. (2021). Принцип формування об'єктних організаційно-технологічних схем зведення. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 16, 109–114. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-14)
4. Тугай О.А., Іванейко І.Д., Дубинка О.В., Шебек М.О., Іванейко М.М., Олійник В.М. Вплив періоду згортання потоків у промисловому будівництві без застосування додаткового трудового ресурсу. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 2023, 52(1), 171–180. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(1\).171-180](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).171-180)
5. Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. 303 с.
6. Гуляницький Л.Ф., Мулеса О.Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації: навч. посіб. К.: Видавничо-поліграф. центр "Київ. ун-т", 2016. 143 с. https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/magistr/MDO_pidruchnyk.pdf

7. Tadeusz Maj. (2007). *Organizacja budowy*. Warszawa. 220 p.
8. ДСТУ Б.А.3.1-22:2013. Визначення тривалості будівництва об'єктів. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 43 с.
9. Шумаков И.В., Микаутадзе Р.И., Ляхов И.И. (2018). Оптимизационные тенденции в прогнозировании продолжительности строительства. *Науковий вісник будівництва*, 91(1), 115–121. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2018_91_1_17
10. Ушацький С.А., Шейко Ю.П., Тригер Г.М. та ін. Організація будівництва. Підручник. К.: Кондор, 2007. 521 с.
11. Chao-Hsien Pan J., Chen J.-Sh., Chao Ch.-M. (2002). Minimizing tardiness in a two-machine flow-shop. *Computers & Operations Research*, 29, 869–875. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(00\)00090-3](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(00)00090-3)
12. Ivaneiko Ihor. (2023). System of redistribution of non-used resource work in non-rhythmic flow-lines. *Theory and Building Practice*, 5 (1), 64–71. DOI: <https://doi.org/10.23939/jtbp2023.01.064>
13. Ivaneiko Ihor. (2024). Reducing the duration of the flow-line construction in parallel using existing teams. *Theory and Building Practice*, 6(1), 32–39. DOI: <https://doi.org/10.23939/jtbp2024.01.032>

Ihor IVANEIKO, Mykhailo IVANEIKO, Serhiy RASPUTNYI, Anastasiya OSYPOVA
Reduction of construction duration through the optimization of work execution periods

Construction requires improved principles for optimizing project durations when they deviate from normative values. To fulfill this task, it is first necessary to have information about the workflow, the composition and compatibility of work brigades, and then to apply both existing and newly developed organizational and technological methods to reduce the overall construction time. This paper proposes identifying destabilizing factors and optimization solutions for non-rhythmic construction flows.

Destabilizing factors are identified both for the construction process as a whole and for its individual elements. The assessment includes deviations in labor intensity (work duration) and the presence of local and global extrema within the system. The occurrence of local minima in the construction schedule leads to downtime in the network schedule (Critical Path Method), an increase in the deployment and folding periods of work flows, and uneven consumption of labor resources.

Another issue in construction is the insufficient availability of labor resources. Therefore, the task is approached through multicriteria optimization based on Pareto efficiency. To address the elimination of local minima, the article presents methods for influencing work durations and examines their impact on resource expenditure. The diagram illustrates a variant design approach for eliminating local minima. The second stage of optimization involves defining the optimization criterion and maximizing the use of similar brigades through the parallel method in the matrix system. In the parallel method, the period during which compatible brigades can work simultaneously is extended.

As a result of the two-stage optimization of the non-rhythmic work flow, the following outcomes were achieved: elimination of local extrema; reduction in construction duration (from 153 to 90 days for the flow method, and from 128 to 90 days for network scheduling); nearly identical work periods for installation and integrated brigades (B – 73 days, C...D – 74 days, E – 79 days); and a reduction in the number of brigades on site (from six to five).

Keywords: resource saving, local extrema, deployment and folding periods of work flows, work organization methods, optimization.