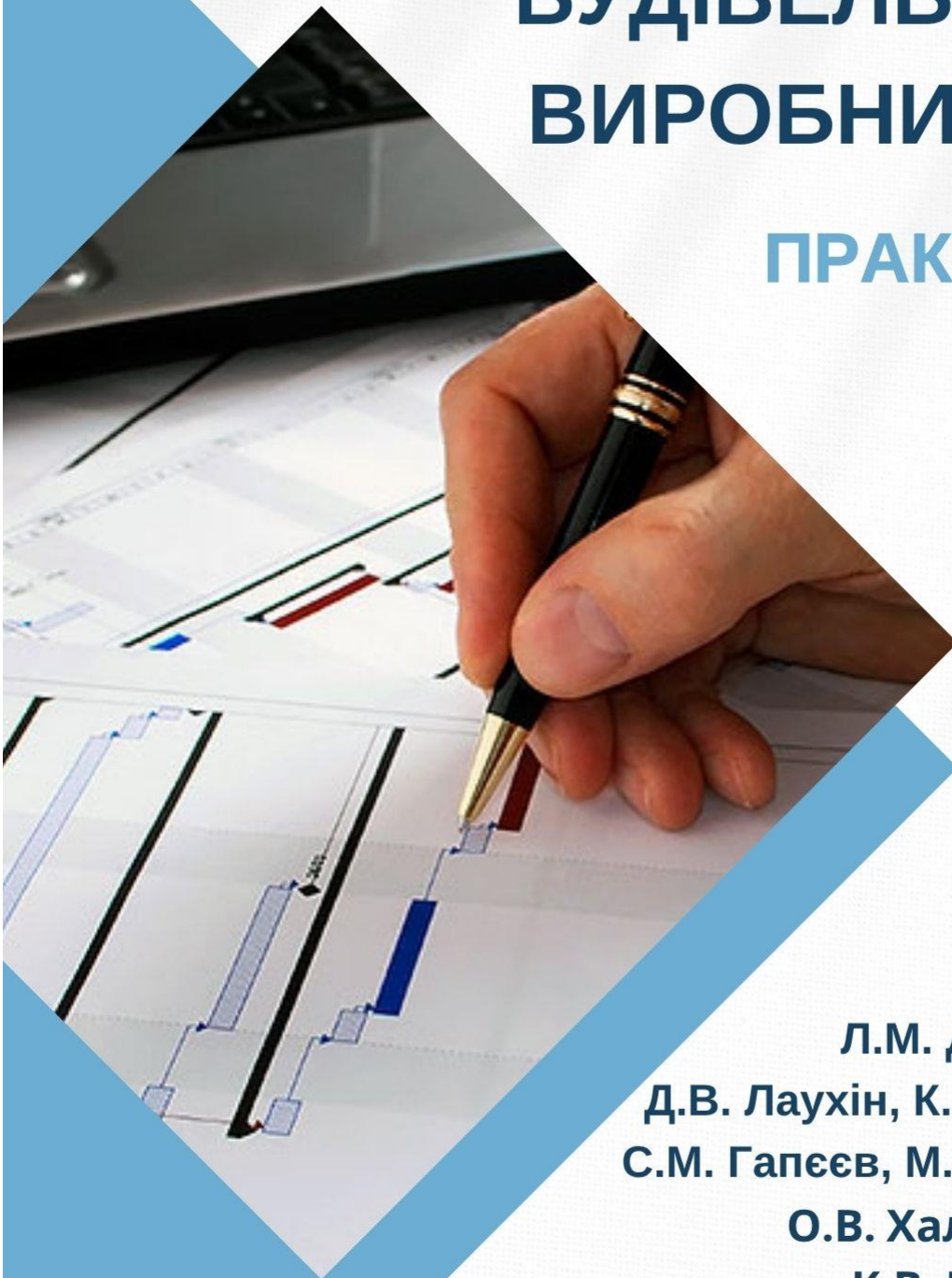


НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

МАТРИЧНІ ТА МЕРЕЖЕВІ МОДЕЛІ В ПЛАНУВАННІ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

ПРАКТИКУМ



Л.М. Дадіверіна,
Д.В. Лаухін, К.А. Зіборов,
С.М. Гапєєв, М.О. Вигодін,
О.В. Халимендик,
К.В. Кравченко

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



**МАТРИЧНІ ТА МЕРЕЖЕВІ МОДЕЛІ В ПЛАНУВАННІ
БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Практикум

Навчальний посібник

Дніпро
НТУ «ДП»
2025

УДК 69.003:519.872

Д 12

*Рекомендовано вченою радою НТУ «Дніпровська політехніка»
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
спеціальності G19 Будівництво та цивільна інженерія
(протокол № _____ від ХХ.ХХ.ХХХХ)*

Рецензенти:

О. Л. Тютюкін – д-р техн. наук, проф. (Український державний університет науки і технологій);

К. Б. Дікарев – канд. техн. наук, доц. (Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»).

Автори: Л. М. Дадіверіна, Д. В. Лаухін, К. А. Зіборов, С. М. Гапеев,
М. О. Вигодін, О. В. Халимендик, К. В. Кравченко.

Матричні та мережеві моделі в плануванні будівельного Д 12 виробництва. Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. / Л. М. Дадіверіна, Д. В. Лаухін, К. А. Зіборов, С. М. Гапеев, М. О. Вигодін, О. В. Халимендик, К. В. Кравченко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 52 с.

Видання є навчальним посібником (практикумом) з дисципліни «Технологія та організація будівельного виробництва». Текст посібника містить рекомендації та приклади розв'язування стандартних задач будівельної тематики, крім того у виданні викладено теоретичні засади застосування матричних і мережевих моделей при вирішенні практичних питань організації будівельного виробництва.

Для здобувачів спеціальності G19 Будівництво та цивільна інженерія, аспірантів, викладачів будівельних спеціальностей і працівників будівельних та проєктних організацій у роботі над вирішенням практичних завдань планування та організації будівництва.

УДК 69.003:519.872

©Л. М. Дадіверіна, Д. В. Лаухін,
К. А. Зіборов, С. М. Гапеев, М. О. Вигодін,
О. В. Халимендик, К. В. Кравченко, 2025
© НТУ «Дніпровська політехніка», 2025

ВСТУП

Якісна підготовка кваліфікованих інженерних кадрів, здатних здійснювати керівництво будівельними процесами, можлива лише за умови засвоєння здобувачами знань дисциплін професійного циклу.

«Технологія і організація будівельного виробництва» – базова навчальна дисципліна в підготовці кваліфікованих фахівців для галузі будівництва. Навчальна дисципліна формує комплексне уявлення про принципи проєктування, організації та планування будівельного виробництва, про методи виконання основних виробничих процесів, управління ресурсами, про умови якісного та безпечного виконання робіт на будівельному майданчику.

Мета дисципліни – формування компетентностей у засвоєнні сучасних способів, моделей, методів технології та організації будівельного виробництва з урахуванням чинного законодавства та нормативної бази.

Формування системних знань і набуття практичних навичок із технології та організації будівництва дають змогу майбутнім спеціалістам успішно виконувати такі завдання:

- проєктувати та реалізовувати організаційно-технологічні процеси будівельного виробництва, використовуючи відповідні моделі, методи, обладнання, матеріали та інструменти;

- використовувати та розробляти технічну документацію на всіх стадіях життєвого циклу будівельної продукції;

- проєктувати будівельні конструкції, будівлі, споруди, інженерні мережі й технологічні процеси будівельного виробництва, з урахуванням інженерно-технічних і ресурсозберігаючих заходів, умов безбар'єрного простору, правових, соціальних, екологічних, техніко-економічних показників, наукових та етичних аспектів і сучасних вимог нормативної документації, часових та інших обмежень у сфері архітектури та будівництва, охорони довкілля та безпеки праці;

- приймати й реалізовувати раціональні, обґрунтовані рішення з організації та управління виробничими процесами при проєктування, зведенні і реконструкції об'єктів будівництва та їх експлуатації;

Якісні теоретичні знання, закріплені практичними навичками при розв'язуванні прикладних задач з використанням матричного та мережевого моделювання технологічних процесів, які дає засвоєння навчальної дисципліни «Технологія і організація будівельного виробництва», створюють для здобувачів такі можливості:

- раціонально формувати будівельні потоки з урахуванням вихідних умов і технологічної послідовності;

- розробляти модель виробництва згідно з прийнятими методами та умовами виконання робіт;

- розраховувати часові параметри потоків і моделей, визначати критичні роботи та шляхи;

- представляти модель у зручному для використання на виробництві

вигляді, тобто створювати основу для календарного планування будівництва;

- визначати ресурсний профіль та розраховувати організаційні параметри будівельних потоків.

Ефективне планування будівельного виробництва полягає в передбаченні та розробці календарних графіків, які встановлюють кількісні орієнтири для досягнення визначених цілей, а також у виборі найефективніших шляхів їхньої реалізації.

Саме такий вибір можливий на основі аналізу різних варіантів виконання робіт з урахуванням технічних, економічних та організаційних факторів. Такий підхід дозволяє мінімізувати витрати, скоротити терміни будівництва та підвищити якість виконання робіт.

Практично для будь-якого завдання у сфері організації, планування та управління будівництвом характерна множинність його можливих рішень. У процесі розробки календарних планів будівельного виробництва доводиться порівнювати між собою різні варіанти реалізації проєктів, обираючи з них раціональний відповідно до встановлених критеріїв. Складність планування полягає в тому, що будівельне виробництво являє собою багатокомпонентну, динамічну систему, у якій безліч елементів взаємодіють між собою та впливають один на одного.

Для аналізу та пошуку ефективних, обґрунтованих рішень у питаннях організації, планування та управління будівництвом використовується моделювання.

Моделювання – це спосіб дослідження будь-яких явищ, процесів або об'єктів шляхом побудови й аналізу їх моделей. Моделювання в сучасних умовах – це основний інструмент аналізу та оптимізації будівельних систем. Одна з основних переваг моделювання в будівельному виробництві – його здатність підвищувати ефективність планування проєктів. Моделлю будемо називати абстрактне відображення найбільш істотних характеристик, процесів та взаємозв'язків реальних систем. Моделі – це безризиковий простір для експериментів, тестування та аналізу.

Для виконання практичних робіт з матричного та мережевого моделювання необхідно засвоїти такі розділи дисципліни «Технологія і організація будівельного виробництва»:

- основи потокової організації будівництва;
- мережеве планування та управління будівництвом.

У навчальному посібнику (практикумі) до кожної теми дається короткий теоретичний матеріал з необхідними роз'ясненнями, прикладами розв'язування задач та контрольними питаннями для самостійної роботи, самоперевірки й підготовки до іспитів.

Посібник адресовано здобувачам закладів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю G19 Будівництво та цивільна інженерія. Це видання може бути корисним і викладачам під час підготовки до практичних занять, а також працівникам будівельних та проєктних організацій у вирішенні питань планування та організації будівництва.

1. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПЛАНУВАННІ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Цей розділ дисципліни дає уявлення про використання математичних матричних моделей для розрахунку часових параметрів та просторової ув'язки будівельних потоків в рамках календарного планування будівельного виробництва.

Математичне моделювання є невід'ємною складовою сучасного планування будівельного виробництва. Його використання дозволяє підвищити ефективність управління будівельними проектами, оптимізувати використання ресурсів, зменшити витрати та екологічний вплив, а також забезпечити високу якість будівельних робіт.

Математичні методи планування допомагають знайти ці взаємозв'язки й у результаті розробити плани, які мають високим рівнем достовірності.

Математична модель – це спрощений опис реальності за допомогою математичних понять.

Математична модель об'єкта моделювання – це система математичних елементів (чисел, змінних, рівнянь, нерівностей, множин, матриць, графів і т.п.) та залежностей між ними, що адекватно відображає деякі властивості об'єкта, суттєві з погляду інженера, для вирішення того чи іншого завдання.

Матриця – це таблиця, в клітинах котрої записуються вихідні дані в залежності від поставленої задачі. Наприклад, для задачі оптимізації тривалості будівництва в клітинах матриці записуємо тривалості робіт; при пошуку варіанта максимального прибутку в клітинах фігурує вартість операції; у випадку розрахунку вартості перевозок в клітинах знаходиться вартість цих перевозок.

Проектування будівельних потоків виконується в наступній послідовності:

1) Виявляються об'єкти однорідні або близькі між собою за об'ємно-планувальними рішеннями, а також за технологією їх зведення, які плануються будувати потоковим методом.

2) Процес зведення будівель розчленовується на окремі складові роботи з урахуванням одноманітності технології їх виконання;

3) Встановлюється доцільна послідовність виконання робіт і з'єднання їх в загальний сукупний процес. Саме розчленування і синхронізація робіт дозволяє досягти безперервності виробництва – одного з принципів поточності.

4) Окремі види робіт закріплюються за окремими виконавцями, і встановлюється послідовність переходу бригад робітників з захватки на захватку.

5) Розраховуються основні параметри потоку з урахуванням забезпечення необхідної послідовності робіт.

6) Визначається раціональна послідовність переходу бригад і провідних будівельних машин з об'єкта на об'єкт (з захватки на захватку).

1.1. Формування початкових даних

1.1.1. Теоретичні передумови.

Розрахунок часових параметрів потоків виконується в наступні матриці, представленій на рис. 1.1.

$i \backslash j$		ЗАХВАТКИ, ОБ'ЄКТИ						t_i	t_i^ϕ	Δt_i
		1	2	...	j	...	N			
Р О Б О Т И, Б Р И Г А Д И	1	$t_{1,1}^\Pi$ $t_{1,1}$ $t_{1,1}^3$	$t_{1,2}^\Pi$ $t_{1,2}$ $t_{1,2}^3$	...	$t_{1,j}^\Pi$ $t_{1,j}$ $t_{1,j}^3$	...	$t_{1,N}^\Pi$ $t_{1,N}$ $t_{1,N}^3$	t_1	t_1^ϕ	Δt_1
	2	$t_{2,1}^\Pi$ $t_{2,1}$ $t_{2,1}^3$	$t_{2,2}^\Pi$ $t_{2,2}$ $t_{2,2}^3$	...	$t_{2,j}^\Pi$ $t_{2,j}$ $t_{2,j}^3$	...	$t_{2,N}^\Pi$ $t_{2,N}$ $t_{2,N}^3$	t_2	t_2^ϕ	Δt_2
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	i	$t_{i,1}^\Pi$ $t_{i,1}$ $t_{i,1}^3$	$t_{i,2}^\Pi$ $t_{i,2}$ $t_{i,2}^3$	...	$t_{i,j}^\Pi$ $t_{i,j}$ $t_{i,j}^3$	...	$t_{i,N}^\Pi$ $t_{i,N}$ $t_{i,N}^3$	t_i	t_i^ϕ	Δt_i
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m	$t_{m,1}^\Pi$ $t_{m,1}$ $t_{m,1}^3$	$t_{m,2}^\Pi$ $t_{m,2}$ $t_{m,2}^3$	...	$t_{m,j}^\Pi$ $t_{m,j}$ $t_{m,j}^3$	...	$t_{m,N}^\Pi$ $t_{m,N}$ $t_{m,N}^3$	t_m	t_m^ϕ	Δt_m	
t_j	t_1	t_2	...	t_j	...	t_N				
t_j^ϕ	t_1^ϕ	t_2^ϕ	...	t_j^ϕ	...	t_N^ϕ				
Δt_j	Δt_1	Δt_2	...	Δt_j	...	Δt_N				

Рис. 1.1. Матриця ув'язки будівельних потоків

Рядки матриці відповідають окремим роботам чи бригадам (наприклад, перший рядок відображає тривалості роботи першої бригади по окремим захваткам). Стовпчики матриці відповідають окремим захваткам чи об'єктам. (перший стовпчик відображає тривалості виконання окремих робіт чи бригад на першій захватці). Центральну частку матриці розрахунку будівельних потоків, обведену жирною лінією, називатимемо вихідною матрицею.

Прийняті в матриці (див. рис. 1.1) позначення параметрів та їх розрахунки.

- 1) $t_{i,j}$ – тривалість роботи бригади i на захватці j ;
- 2) t_i – сумарна тривалість роботи i на всіх захватках:

$$t_i = \sum_{j=1}^N t_{i,j}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1.1)$$

3) t_i^ϕ – фактична тривалість виконання роботи i на всіх захватках (з урахуванням можливих перерв у роботі):

$$t_i^\phi = t_{i,N}^3 - t_{i,1}^\Pi, \quad (1.2)$$

де $t_{i,N}^3$ – закінчення роботи i на захватці N ; $t_{i,1}^\Pi$ – початок роботи i на захватці 1 .

4) Δt_i – сумарна тривалість перерв роботи i на всіх захватках:

$$\Delta t_i = t_i^\phi - t_i. \quad (1.3)$$

5) t_j – сумарна тривалість усіх робіт на захватці j :

$$t_j = \sum_{i=1}^m t_{i,j}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1.4)$$

6) t_j^ϕ – фактична тривалість виконання всіх робіт на захватці j з урахуванням можливих простоїв робіт:

$$t_j^\phi = t_{m,j}^3 - t_{1,j}^\Pi, \quad (1.5)$$

де $t_{m,j}^3$ – час закінчення роботи n на захватці j ; $t_{1,j}^\Pi$ – час початку першої роботи на захватці j ;

7) Δt_j – сумарна тривалість усіх простоїв на захватці j :

$$\Delta t_j = t_j^\phi - t_j. \quad (1.6)$$

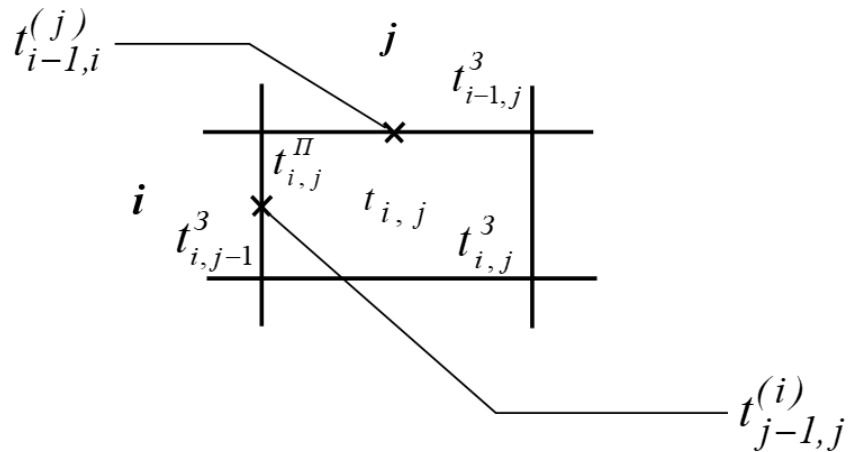


Рис. 1.2. Зміст клітини матриці ув'язки будівельних потоків

8) $t_{i-1,i}^{(j)}$ – організаційна перерва між роботами $i-1$ та i на захватці j (простій захватки, див. рис. 1.2):

$$t_{i-1,i}^{(j)} = t_{i,j}^{II} - t_{i-1,j}^3. \quad (1,7)$$

9) $t_{j-1,j}^{(i)}$ – організаційна перерва в роботі i між захватками $j-1$ та j (простій бригади, див. рис. 1.2):

$$t_{j-1,j}^{(i)} = t_{i,j}^{II} - t_{i,j-1}^3. \quad (1,8)$$

Організаційні перерви у графічній формі представлені на рис. 1.3.

Будівельні потоки характеризуються наступними параметрами:

1. Часові параметри потоку.

1.1. Ритм роботи бригади (t_i) – тривалість роботи бригади i на захватці j ($i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, N$), одиниці виміру – дн.

1.2. Крок потоку (k) – проміжок часу між початком роботи двох суміжних бригад.

1.3. Період розгортання потоку ($t_{роз}$) – час, протягом якого в будівельний потік включаються всі бригади, що беруть участь у потоці, одиниці виміру – дн.:

$$t_{роз} = (m - 1) \cdot t. \quad (1,9)$$

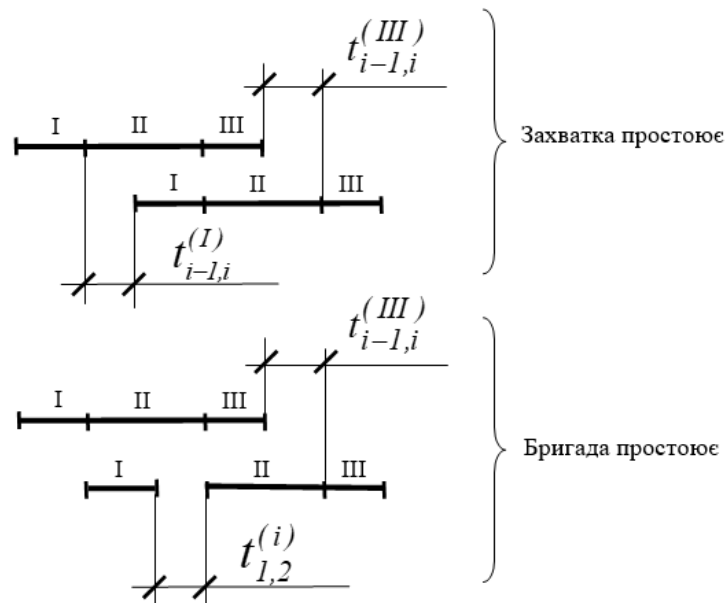


Рис. 1.3. Фізичне значення організаційних перерв

1.4. Період випуску готової продукції (t_{np}) – час роботи завершальної бригади потоку, одиниці виміру – дн.:

$$t_{np} = N \cdot t. \quad (1.10)$$

1.5. Період згортання потоку ($t_{зг}$) – час протягом якого бригади виходять із потоку, одиниці виміру – дн.:

$$t_{зг} = (m - 1) \cdot t. \quad (1.11)$$

1.6. Період стабільної роботи потоку (період сталого потоку) (t_{cm}) – час протягом якого в потоці працюють усі бригади, одиниці виміру – дн.:

$$t_{cm} = t_{1,N}^3 - t_{m,1}^I, \quad (1.12)$$

де $t_{1,N}^3$ – час закінчення роботи першої бригади на останній захватці;
 $t_{m,1}^I$ – час початку роботи останньої бригади на першій захватці.

1.7. Загальна тривалість функціонування потоку – T_3 , одиниці виміру – дн.

2. Організаційні параметри.

2.1 Максимальна кількість використовуваних робітників (R_{max}), одиниці виміру – роб.

2.2. Середня за період будівництва кількість робітників (R_{cp}), визначається по формулі, одиниці виміру – роб.:

$$R_{cp} = \frac{\sum_j^N T p_j}{T_3}, \quad (1.12)$$

де $T p_j$ — трудомісткість усіх робіт на захватці; N — кількість захваток; t_i — сумарна тривалість виконання роботи бригадою i на всіх захватках; t_j — сумарна тривалість усіх робіт на захватці j .

2.3. Коефіцієнт рівномірності використання ресурсів (β):

$$\beta = \frac{R_{cp}}{R_{max}}. \quad (1.13)$$

2.4. Коефіцієнт стабільності потоку (α):

$$\alpha = \frac{t_{cm}}{T_3}. \quad (1.14)$$

1.1.2. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання.

1. Записуємо повністю своє прізвище, ім'я та по-батькові. Користуючись таблицею 1.1, виписуємо цифри, які підписані у стовпчику під відповідною літерою алфавіту.

Таблиця 1.1.

<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>Г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>є</i>	<i>ж</i>	<i>з</i>	<i>и</i>	<i>ї</i>	<i>і</i>	<i>й</i>	<i>к</i>	<i>л</i>	<i>м</i>	<i>н</i>	<i>о</i>	<i>п</i>	<i>р</i>	<i>с</i>	<i>т</i>	<i>у</i>	<i>ф</i>
7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4

<i>x</i>	<i>ц</i>	<i>ч</i>	<i>ш</i>	<i>щ</i>	<i>ь</i>	<i>ю</i>	<i>я</i>
5	6	7	7	6	5	4	3

Приклад таблиця 1.2.

Таблиця 1.2.

<i>К</i>	<i>о</i>	<i>в</i>	<i>а</i>	<i>л</i>	<i>ь</i>		<i>Д</i>	<i>м</i>	<i>и</i>	<i>т</i>	<i>р</i>	<i>о</i>		<i>В</i>	<i>і</i>	<i>к</i>	<i>т</i>	<i>о</i>	<i>р</i>	<i>о</i>	<i>в</i>	<i>и</i>	<i>ч</i>
7	3	5	7	6	5		2	5	4	2	1	3		5	6	7	2	3	1	3	5	4	7

2. Числа позначають тривалість i -того виду робіт на j -тому об'єкті — t_{ij} , дн.;

3. Для задач 1÷3 розробляємо та заповнюємо вихідну матрицю, виписуючи посліпль числа (зліва направо по строках), розмір вихідної матриці

для індивідуального завдання 4×5 . Приклад заповнення вихідної матриці рис. 1.4.

4. Кількість робітників по кожному з видів робіт умовно приймаємо як значення показника t_i у табличній матриці (див. рис.1.1).

$$\begin{pmatrix} 7 & 3 & 5 & 7 & 6 \\ 5 & 2 & 5 & 4 & 2 \\ 1 & 3 & 5 & 6 & 7 \\ 2 & 3 & 1 & 3 & 5 \end{pmatrix}$$

Рис. 1.4. Вихідна матриця розміром 4×5 у загальному вигляді

1.2. Розрахунок параметрів та ув'язка робіт будівельних потоків за умови безперервності використання ресурсів ($R \rightarrow$)

ЗАДАЧА 1.

Теоретичні передумови:

1. Перерви в роботі бригади між роботами на двох суміжних захватках не допускаються:

$$t_{j-1,j}^{(i)} = t_{i,j}^{II} - t_{i,j-1}^3 = 0. \quad (1.15)$$

2. Прості фронтів робіт (перерви між різними роботами на розглянутій захватці) допускаються:

$$t_{i-1,i}^{(j)} = t_{i,j}^{II} - t_{i-1,j}^3 \geq 0. \quad (1.16)$$

Приклад розрахунку.

Дано:

1. Розмір матриці 4×5 :
 - кількість бригад $m = 4$;
 - кількість захваток $N = 5$;
2. Тривалості роботи бригад на захватках t_{ij} (вихідна матриця) рис. 1.5.
3. За кількість робітників по кожному з видів робіт умовно приймаємо значення показника t_i .

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 3 & 6 \\ 3 & 5 & 3 & 6 & 1 \\ 4 & 6 & 4 & 3 & 1 \\ 3 & 5 & 4 & 7 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 1.5. Вихідна матриця розміром 4×5 у загальному вигляді

Визначити:

1. Тривалість роботи будівельного потоку, який аналізується
2. Початок та закінчення виконання робіт кожної бригади на кожній захватці.
3. Часові та організаційні параметри будівельного потоку.
4. Розробити графіки виконання робіт та потреби у трудових ресурсах.

Розрахунок.

1. Розрахунок виконується по рядках, де вказані тривалості виконання окремих робіт або бригад.

Початок 1-ї роботи на 1-ій захватці : $t_{1,1}^{\Pi} = 0$. Закінчення її роботи на 1-ій захватці: $t_{1,1}^3 = t_{1,1}^{\Pi} + t_{1,1}$.

2. Початок та закінчення 1-ої роботи на наступних захватках ($j = 2, 3, \dots, N$):

$$t_{1,j}^{\Pi} = t_{1,j-1}^3; \quad t_{1,j}^3 = t_{1,j}^{\Pi} + t_{1,j}. \quad (1.17)$$

3. Початок і закінчення будь-яких (крім першої) робіт на всіх захватках визначаються на основі виконання наступних кроків:

3.1. Не звертаючи увагу на можливі накладення різних робіт на одній і тій же захватці в один і той же час, початок наступної роботи на першій захватці приймають рівним часу закінчення на цій же захватці попередньої роботи:

$$t_{i,1}^{\Pi} = t_{i-1,1}^3, \quad t_{i,1}^3 = t_{i,1}^{\Pi} + t_{i,1} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, N). \quad (1.18)$$

3.2. Початок і закінчення будь-якої (крім першої) роботи на наступних захватках визначають аналогічно розрахунку початку та закінчення першої роботи на цих же захватках:

$$t_{i,j}^{\Pi} = t_{i,j-1}^3, \quad t_{i,j}^3 = t_{i,j}^{\Pi} + t_{i,j}. \quad (1.19)$$

4. Розрахувавши початок та закінчення даної роботи на всіх захватках, визначають наявність неприпустимого суміщення робіт різних бригад у часі

та у просторі (в один і той же час на одній і тій же захватці) тобто перевіряємо виконання теоретичної умови розрахунку 2 (див. формулу 1.16). Для цього визначають організаційні перерви між роботами i та $i-1$ захваток j ($j = 1, 2, 3, \dots, N$):

$$t_{i-1,i}^{(j)} = t_{i,j}^{\text{II}} - t_{i-1,j}^3 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, N). \quad (1.20)$$

$R \downarrow \rightarrow$

		Захватки, об'єкти					t_i	t_i^Φ	Δt_i
		I	II	III	IV	V			
Роботи, Бригади	1	0 1 1	1 3 4	4 7 11	11 3 14	14 6 20	20	20	0
	2	1 0 3 6 4	4 0 5 11 9	9 -2 3 14 12	12 -2 6 20 18	18 -2 1 21 19	18	18	0
	3	6 0 4 11 10	10 -1 6 17 16	16 2 4 21 20	20 0 3 24 23	23 2 1 25 24	18	18	0
	4	11 0 3 17 14	14 -3 5 22 19	19 -2 4 26 23	23 -1 7 33 30	30 5 1 34 31	20	20	0
t_j		11	19	18	19	9			
t_j^Φ		17	21	22	22	20			
Δt_j		6	2	4	3	11			

Рис. 1.6. Таблична матриця – розрахунок будівельного потоку за умови безперервності використання трудових ресурсів

Якщо організаційні перерви між роботами i та $i-1$ на всіх захватках позитивні, то ув'язка даної роботи на всіх захватках вважається закінченою. Після цього приступають до ув'язки наступної роботи.

4.1. Якщо є організаційні перерви з мінусом (теоретична умова розрахунку 2 не виконується), то серед них необхідно знайти мінімальне значення (максимальне по модулю) і на цю величину змістити початок і закінчення даної роботи на всіх захватках.

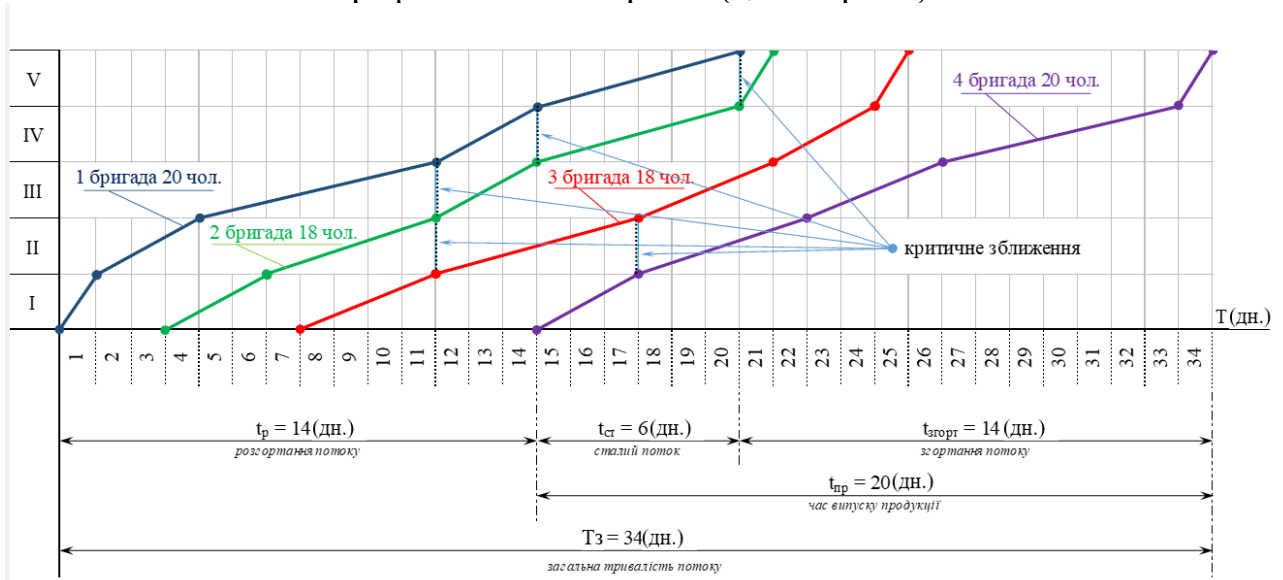
5. Цикл 3 ÷ 4 повторюють для всіх робіт $j = 3, 4, \dots, N$.

Визначивши початок і закінчення всіх робіт на всіх захватках, розраховують значення часових параметрів: $t_i, t_i^{\phi}, \Delta t_i, t_j, t_j^{\phi}, \Delta t_j$ для всіх робіт за наведеними вище формулами (див. формули 1.1 ÷ 1.6).

Використовуючи отримані характеристики потоку, будемо графік його роботи та графік руху робітників по об'єкту (графік потреби у трудових ресурсах) (рис. 1.7).

Користуючись розрахованою табличною матрицею (див. рис. 1.6), приймаємо кількість робітників по бригадах: бригада № 1 – 20 роб.; бригада № 2 – 18 роб.; бригада № 3 – 18 роб.; бригада № 4 – 20 роб.

Графік виконання робіт (циклограма)



Графік руху трудових ресурсів по об'єкту

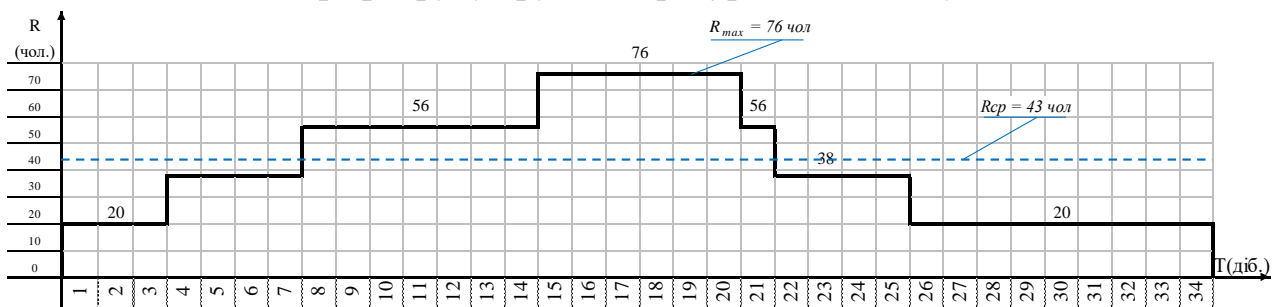


Рис. 1.7. Графік виконання робіт та графік руху трудових ресурсів по об'єкту

Часові параметри:

- загальна тривалість потоку: $T_z = 34$ (дн.);
- час розгортання потоку: $t_{розг} = t_{4,I}^{II} - t_{1,I}^{II} = 14 - 0 = 14$ (дн.);
- час сталого потоку: $t_{cm} = t_{1,V}^3 - t_{4,I}^{II} = 20 - 14 = 6$ (дн.);
- час згортання потоку: $t_{зг} = t_{4,V}^3 - t_{1,V}^3 = 34 - 20 = 14$ (дн.);
- час випуску продукції: $t_{np} = t_{4,V}^3 - t_{4,I}^{II} = 34 - 14 = 20$ (дн.).

Організаційні параметри:

- максимальна кількість робітників в день: $R_{max} = 76$ (роб.);
- середня кількість робітників в день: $R_{cp} = \Sigma Tr / T_3 = (20 \times 3 + 38 \times 4 + 56 \times 7 + 76 \times 6 + 56 \times 1 + 38 \times 4 + 20 \times 9) / 34 = (42,59) = 43$ (роб.);
- коефіцієнт рівномірності використання трудових ресурсів: $\beta = R_{cp} / R_{max} = 43 / 76 = 0,56$
- коефіцієнт сталого потоку: $\alpha = t_{cm} / T_3 = 6 / 34 = 0,18$

1.3. Розрахунок параметрів та ув'язка робіт будівельних потоків за умови безперервності завантаження фронтів робіт (Φ)

ЗАДАЧА 2.

Теоретичні передумови:

1. Простої фронтів робіт, тобто перерви між різними роботами на розглянутій захватці не допускається:

$$t_{i-1,i}^{(j)} = t_{i,j}^{\Pi} - t_{i-1,j}^3 = 0. \quad (1.21)$$

2. Простої бригад при переході із захватки на захватку допускаються:

$$t_{j-1,j}^{(i)} = t_{i,j}^{\Pi} - t_{i,j-1}^3 \geq 0. \quad (1.22)$$

Приклад розрахунку.

Дано:

1. Розмір матриці 4 x 5:
 - кількість бригад $m = 4$;
 - кількість захваток $N = 5$;

Тривалості роботи бригад на захватках t_{ij} (вихідна матриця) рис. 1.8.

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 3 & 6 \\ 3 & 5 & 3 & 6 & 1 \\ 4 & 6 & 4 & 3 & 1 \\ 3 & 5 & 4 & 7 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 1.8. Вихідна матриця розміром 4×5 у загальному вигляді

2. За кількість робітників по кожному з видів робіт умовно приймаємо значення показника t_i .

Визначити:

1. Тривалість роботи будівельного потоку, який аналізується.

2. Початок та закінчення виконання робіт кожної бригади на кожній захватці.
3. Часові та організаційні параметри будівельного потоку.
4. Розробити графіки виконання робіт та потреби у трудових ресурсах.

Розрахунок.

1. Визначаємо початок та закінчення роботи всіх бригад на першій захватці.

2.1. Початок роботи 1-ої бригади на першій захватці $t_{1,1}^{\Pi} = 0$. Закінчення роботи:

$$t_{1,1}^3 = t_{1,1}^{\Pi} + t_{1,1}. \quad (1.23)$$

Початок та закінчення роботи другої бригади на першій захватці:

$$t_{2,1}^{\Pi} = t_{1,1}^3, \quad t_{2,1}^3 = t_{2,1}^{\Pi} + t_{2,1}. \quad (1.24)$$

Взагалі для будь-якої роботи:

$$t_{i,j}^{\Pi} = t_{i-1,j}^3, \quad t_{i,j}^3 = t_{i,j}^{\Pi} + t_{i,j}. \quad (1.25)$$

3. Погоджуємо роботу всіх бригад на другій захватці.

3.1. Не звертаючи увагу на наявність можливих суміщення на одній і тій же захватці робіт двох суміжних бригад, початок роботи першої бригади на 2-ій захватці назначаємо тоді, коли перша бригада закінчить роботу на першій захватці: $t_{1,2}^{\Pi} = t_{1,1}^3$. Закінчення роботи першої бригади на 2-ій захватці:

$$t_{1,2}^3 = t_{1,2}^{\Pi} + t_{1,2}. \quad (1.26)$$

Початок роботи другої бригади на другій захватці визначається закінченням роботи 1-ої бригади на 2-ій захватці: $t_{2,2}^{\Pi} = t_{1,2}^3$, а її закінчення:

$$t_{2,2}^3 = t_{2,2}^{\Pi} + t_{2,2}. \quad (1.27)$$

- 3.2. Для наступних бригад розрахунок аналогічний.

4. Після визначення начала та закінчення всіх робіт на другій захватці, потрібно перевірити виконання теоретичної умови 2 (див. формулу 1.22), тобто чи є суміщення робіт двох бригад на одній і тій же захватці.

У прикладі для 1-ї та 2-ої робіт ця теоретична умова не порушується. Для роботи $i = 3$ при переході із захватки $j = 1$ на захватку $j = 2$, ця принцип порушений: $t_{2-1,2}^{(3)} = t_{3,2}^{\text{II}} - t_{3,2-1}^3 < 0$.

Усі порушення умови 2 потрібно визначити, позначити хрестиком у табличній матриці, поруч вказавши значення (кількість днів).

Серед усіх визначених порушення умови 2 потрібно знайти найменше (найбільше по абсолютній величині) та виділити (обвести кружком).

З урахуванням виділеного найменшого (найбільшого по абсолютній величині) порушення умови 2, відкоригуємо початок та закінчення всіх робіт на другій захватці. Для цього необхідно збільшити значення початку та закінчення всіх робіт на другій захватці на абсолютну величину виділеного порушення умови 2 (яке було обведено кружком).

5. Попередні дії повторити для всіх захваток. У результаті, роботи всіх бригад на всіх захватках будуть погоджені в часі та просторі при умові безперервності завантаження фронтів робіт.

Φ↓

i \ j		Захватки, об'єкти					t_i	t_i^Φ	Δt_i
		I	II	III	IV	V			
Роботи, Бригади	1	0 1 1	1 3 4	6 7 13	13 3 16	24 6 30	20	30	10
	2	1 3 4	4 5 9	13 3 16	16 6 22	30 1 31	18	30	12
	3	4 4 8	9 6 15	16 4 20	22 3 25	31 1 32	18	28	10
	4	8 3 11	15 5 20	20 4 24	25 7 32	32 1 33	20	25	5
t_j		11	19	18	19	9			
t_j^Φ		11	19	18	19	9			
Δt_j		0	0	0	0	0			

Рис. 1.9. Таблична матриця – розрахунок будівельного потоку за умови безперервності завантаження фронтів робіт

6. Визначаємо часові параметри: $t_i, t_i^\phi, \Delta t_i, t_j, t_j^\phi, \Delta t_j$ для всіх робіт за наведеними вище формулами (див. формули 1.1 ÷ 1.6).

Використовуючи отримані характеристики потоку, будемо графік його роботи та графік руху робітників по об'єкту (графік потреби у трудових ресурсах) (рис. 1.10). Кількість робітників в бригадах не змінюється: бригада № 1 – 20 роб.; бригада № 2 – 18 роб.; бригада № 3 – 18 роб.; бригада № 4 – 20 роб.

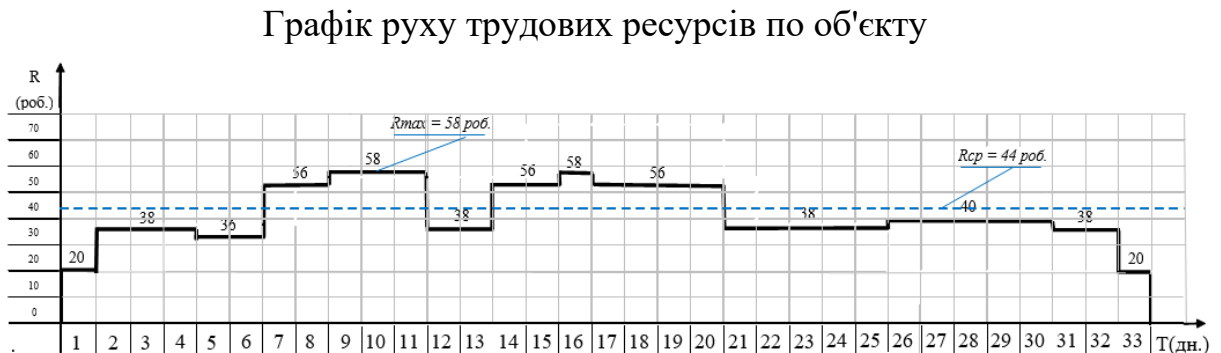
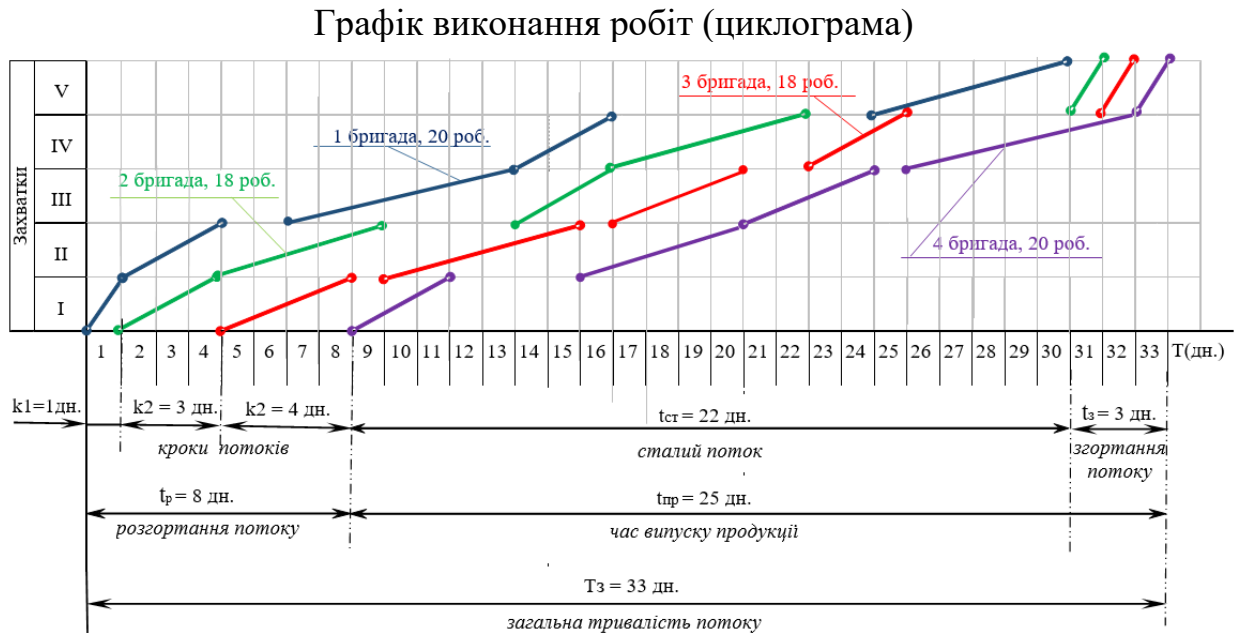


Рис. 1.10. Графік виконання робіт та графік руху трудових ресурсів по об'єкту

Часові параметри:

- загальна тривалість потоку: $T_z = 33$ (дн.);
- час розгортання потоку: $t_{розг} = t_{4,I}^{II} - t_{1,I}^{II} = 8 - 0 = 8$ (дн.);
- час сталого потоку: $t_{см} = t_{1,V}^3 - t_{4,I}^{II} = 30 - 8 = 22$ (дн.), $t_{см}^\phi = 0$;
- час згортання потоку: $t_{зг} = t_{4,V}^3 - t_{1,V}^3 = 33 - 30 = 3$ (дн.);
- час випуску продукції: $t_{пр} = t_{4,V}^3 - t_{4,I}^{II} = 33 - 8 = 25$ (дн.).

Організаційні параметри:

- максимальна кількість робітників в день: $R_{max} = 58$ (роб.);
- середня кількість робітників в день: $R_{cp} = \Sigma Tr / T_3 = (20 \times 1 + 38 \times 3 + 36 \times 2 + 56 \times 2 + 58 \times 3 + 38 \times 2 + 56 \times 2 + 58 \times 1 + 56 \times 4 + 38 \times 5 + 40 \times 5 + 38 \times 2 + 20 \times 1) / 33 = (43,88) = 44$ (роб.);
- коефіцієнт рівномірності використання трудових ресурсів: $\beta = R_{cp} / R_{max} = 44 / 58 = 0,76$;
- коефіцієнт сталого потоку: $\alpha = t_{cm} / T_3 = 22 / 33 = 0,67$

1.4. Розрахунок параметрів та ув'язка робіт будівельних потоків за умови безперервності виконання критичних робіт (К $\searrow \rightarrow$)

ЗАДАЧА 3.

Теоретична передумова: перерви між критичними роботами (критичні роботи – роботи, які визначають загальну тривалість будівництва) не допускаються:

$$t_{i,j}^{\Pi} = \max(t_{i,j-1}^3, t_{i-1,j}^3). \quad (1.28)$$

Приклад розрахунку.

Дано:

1. Розмір матриці 4 x 5:
 - кількість бригад $m = 4$;
 - кількість захваток $N = 5$;
2. Тривалості роботи бригад на захватках t_{ij} (вихідна матриця)
рис. 1.11.

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 3 & 6 \\ 3 & 5 & 3 & 6 & 1 \\ 4 & 6 & 4 & 3 & 1 \\ 3 & 5 & 4 & 7 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 1.11. Вихідна матриця розміром 4 × 5 у загальному вигляді

3. За кількість робітників по кожному з видів робіт умовно приймаємо значення показника t_i .

Визначити:

1. Тривалість роботи будівельного потоку, який аналізується
2. Початок та закінчення виконання робіт кожної бригади на кожній захватці.
3. Часові та організаційні параметри будівельного потоку.

4. Розробити графіки виконання робіт та потреби у трудових ресурсах.

Розрахунок.

Розрахунок можна виконувати як по рядках так і по стовпцях табличної матриці.

Початок 1-ї роботи на 1-ій захватці: $t_{1,1}^I = 0$. Закінчення її роботи на 1-ій захватці: $t_{1,1}^3 = t_{1,1}^I + t_{1,1}$.

Початок та закінчення 1-ої роботи на наступних захватках ($j = 2, 3, \dots, N$):

$$t_{1,j}^I = t_{1,j-1}^3; \quad t_{1,j}^3 = t_{1,j}^I + t_{1,j}. \quad (1.29)$$

Початок і закінчення робіт 1-ої бригади на інших захватках визначаються так само як і при розрахунку початку та закінчення робіт першої бригади на всіх захватках при умові безперервності використання трудових ресурсів (див. Задачу 1).

(K →)

i \ j		Захватки, Об'єкти					t_i	t_i^Φ	Δt_i
		I	II	III	IV	V			
Роботи, Бригади	1	0 1 1	1 3 4	4 7 11	11 3 14	14 6 20	20	20	0
	2	1 3 4	4 5 9	11 3 14	14 6 20	20 1 21	18	20	2
	3	4 4 8	9 6 15	15 4 19	20 3 23	23 1 24	18	20	2
	4	8 3 11	15 5 20	20 4 24	24 7 31	31 1 32	20	24	4
t_i		11	19	18	19	9			
t_i^Φ		11	19	20	20	18			
Δt_i		0	0	2	1	9			

Рис. 1.12. Таблична матриця – розрахунок будівельного потоку за умови безперервності виконання критичних робіт

Початок робіт 2-ої бригади на 1-ій захватці приймається рівним закінченню роботи 1-ої бригади на 1-ій захватці.

Початок робіт 2-ої та наступних бригад на 2-ій та на наступних захватках:

$$t_{i,j}^{\Pi} = \max(t_{i,j-1}^3; t_{i-1,j}^3), \quad i = 2, 3, \dots, m; \quad j = 2, 3, \dots, N. \quad (1.30)$$

$$t_{i,1}^3 = t_{i,1}^{\Pi} + t_{i,1} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, N). \quad (1.31)$$

Після визначення початку та закінчення всіх робіт на всіх захватках, розраховують значення $t_i, t_i^{\phi}, \Delta t_i, t_j, t_j^{\phi}, \Delta t_j$ для всіх робіт за наведеними вище формулами (див. формули 1.1 ÷ 1.6).

Після закінчення розрахунку табличної матриці, розробляємо графік роботи потоку та графік руху робітників по об'єкту (графік потреби у трудових ресурсах) (рис. 1.13).

Кількість робітників в бригадах не змінюється: бригада № 1 – 20 роб.; бригада № 2 – 18 роб.; бригада № 3 – 18 роб.; бригада № 4 – 20 роб.

Часові параметри:

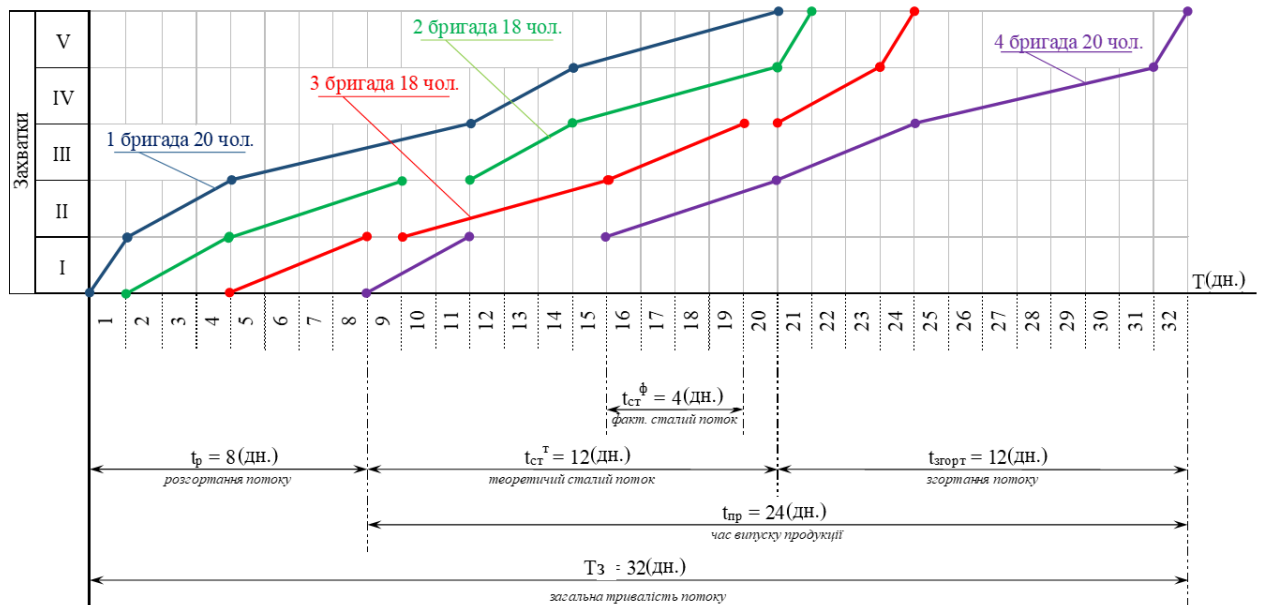
- загальна тривалість потоку: $T_3 = 32$ (дн.);
- час розгортання потоку: $t_{розг} = t_{4,I}^{\Pi} - t_{1,I}^{\Pi} = 8 - 0 = 8$ (дн.);
- час сталого потоку: $t_{cm} = t_{1,V}^3 - t_{4,I}^{\Pi} = 20 - 8 = 6$ (дн.) – теоретичний; $t_{cm}^{\phi} = 4$ (дн.) – фактичний (визначаємо користуючись графіком ресурсів);

- час згортання потоку: $t_{зг} = t_{4,V}^3 - t_{1,V}^3 = 32 - 20 = 12$ (дн.);
- час випуску продукції: $t_{np} = t_{4,V}^3 - t_{4,I}^{\Pi} = 32 - 8 = 24$ (дн.).

Організаційні параметри:

- максимальна кількість робітників в день: $R_{max} = 76$ (роб.);
- середня кількість робітників в день: $R_{cp} = \Sigma Tr / T_3 = (20 \times 1 + 38 \times 3 + 56 \times 4 + 58 \times 3 + 56 \times 4 + 76 \times 4 + 58 \times 1 + 56 \times 1 + 38 \times 3 + 20 \times 8) / 32 = (45,25) = 46$ (роб.);
- коефіцієнт рівномірності використання трудових ресурсів: $\beta = R_{cp} / R_{max} = 46 / 76 = 0,61$;
- коефіцієнт сталого потоку: $\alpha = t_{cm} / T_3 = 12 / 32 = 0,38$ – теоретичний; $\alpha = t_{cm}^{\phi} / T_3 = 4 / 32 = 0,12$ – фактичний.

Графік виконання робіт (циклограма)



Графік руху трудових ресурсів по об'єкті

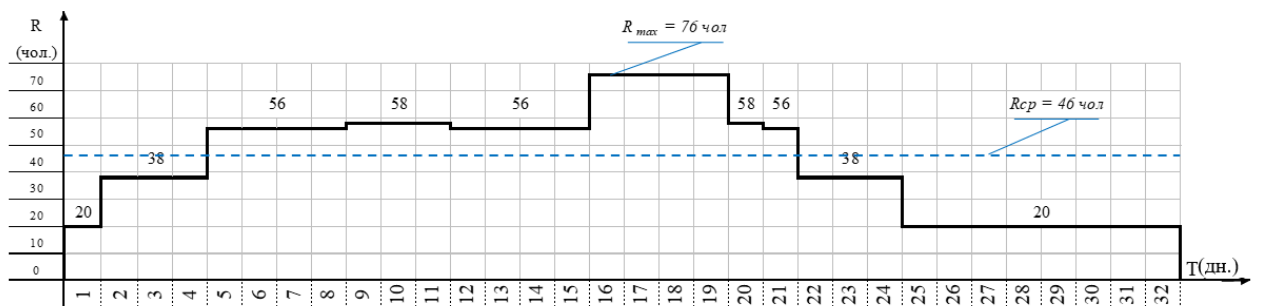


Рис. 1.13. Графік виконання робіт та графік руху трудових ресурсів по об'єкті

1.5. Аналіз результатів виконаних розрахунків

З метою порівняльного аналізу результатів використання різних методів для розрахунку часових параметрів та ув'язки роботи будівельних потоків, які були розглянуті у розділі, заповнюємо таблицю 1.3.

Данні для заповнення таблиці виписуємо із результатів розрахунку задач 1÷3.

Аналізуємо виписані розрахункові параметри (оборані фактори) будівельних потоків та формулюємо загальний висновок. У висновку обґрунтовано обираємо один з методів ув'язки будівельних потоків, якій буде раціональним в заданих умовах, встановлених індивідуальним завданням.

Своє рішення обґрунтовуємо, керуючись необхідністю оптимізації

будівельних проєктів за такими основними факторами як тривалість реалізації проєкту та кількість ресурсів, яка необхідна для його реалізації.

Таблиця 1.3.

Порівняльна таблиця

Умови розрахунків	Фактори, обрані для аналізу методів				
	T_z	R_{max}	R_{cp}	β	α
1) при умові безперервності використання ресурсів ($R \rightarrow$)					
2) при умові безперервності завантаження фронтів робіт ($\Phi \downarrow$)					
3) при умові безперервності виконання критичних робіт ($K \nabla \rightarrow$)					

Контрольні питання

1. Що таке будівельний потік, класифікація будівельних потоків.
2. Часові, організаційно-технологічні параметри будівельних потоків.
3. Надайте визначення та формулу розрахунку часового параметру «період розгортання будівельного потоку».
4. Надайте визначення та формулу розрахунку «періоду згортання будівельного потоку».
5. Надайте визначення та формулу розрахунку «періоду випуску продукції будівельного потоку».
6. Надайте визначення та формулу розрахунку «періоду сталого потоку».
7. Як розраховується коефіцієнт рівномірності використання трудових ресурсів?

2. МЕРЕЖЕВЕ ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ БУДІВНИЦТВОМ

Цей розділ дає уявлення про мережеві моделі та мережеве планування, що є основним організаційним інструментом управління будівельними проєктами. Мережеве планування, потенціал якого з позицій підвищення ефективності управління будівельними проєктами зумовило зростання інтересу до цього питання. Зараз конкурентоспроможність починає залежати від часу не менше, ніж вартості. Можливість впровадити на будівельний ринок інноваційні продукти чи послуги раніше, ніж конкуренти, чи здатність контролювати витрати, пов'язані з реалізацією будівельних проєктів, краще, ніж інші, можуть сформувати значні конкурентні переваги для компанії.

Мережеве планування – метод, заснований на застосуванні математичного апарату теорії графів – для відображення та алгоритмізації комплексу взаємопов'язаних робіт, заходів або дій для досягнення чітко окресленої мети.

Мережеві моделі дозволяють здійснювати: календарне планування виконання будівельних робіт; оптимізацію тривалості реалізації будівельного проєкту в цілому; оптимізацію використання матеріально-технічних та фінансових ресурсів як на стадії проєктування так і у ході реалізації проєкту, за рахунок організації оперативного управління та контролю.

Основні переваги мережевих графіків: мережеві графіки, дозволяють обґрунтовано та оперативно планувати, визначати раціональний варіант тривалості виконання робіт, використовувати резерви часу та коригувати графік під час реалізації будівельних проєктів; виявляти важливі – критичні роботи, які впливають на строки будівництва та контролювати хід виконання таких робіт; мережеві графіки дозволяють застосовувати комп'ютерну техніку та технології у плануванні будівельного виробництва

Застосування мережевого планування допомагає відповісти на такі запитання:

- 1) скільки часу потрібно на виконання будівельного проєкту?
- 2) у який час мають розпочинатися та закінчуватися окремі роботи?
- 3) які роботи є «критичними» та повинні виконуватися точно за графіком, аби не зірвати строки реалізації будівельного проєкту?
- 4) на який термін можна відкласти виконання «некритичних» робіт, щоб це не вплинуло на строки виконання будівельного проєкту?

2.1. Формування початкових даних

2.1.1. Теоретичні передумови.

Мережевою моделлю називають графічне зображення процесу будівництва об'єкта або комплексу споруд із зазначенням організаційних і технологічних взаємозв'язків між роботами.

Мережева модель з розрахованими тимчасовими параметрами називається мережевим графіком.

Структура моделі, яка визначає взаємозалежність і розташування на

кресленні робіт і подій, називається його топологією.

Основними елементами мережевих моделей є подія, робота, технологічна перерва, фіктивна робота (залежність).

На мережевому графіку подія позначається кружком, в якому пишуть його номер (шифр події).

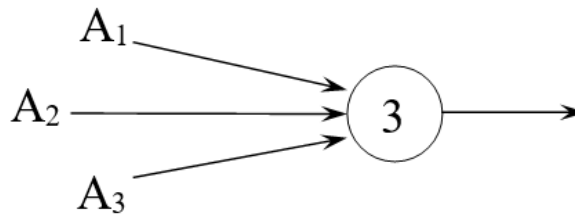


Рис. 2.1. Графічне зображення події 3

Розрізняють: вихідну подію – подія, що не має попередніх; завершальну (цільову) подію – подія, що не має подальших; контрольну подію – в деяких випадках виділяють таку подію для проміжного контролю (наприклад, «здача секції під оздоблення», «готовність прольоту під монтаж обладнання» і т. д.

За кількістю цільових подій мережеві моделі можуть бути одноцільовими або багатоцільовими.

Роботою називають виробничий процес, для виконання якого необхідно затратити час і ресурси. Наприклад, «влаштування фундаментів», «монтаж ферм».

В мережевій моделі робота зображується суцільною лінією, довжина якої не залежить від тривалості роботи (якщо мережева модель зображена не в масштабі часу).

Кожна робота має початкову подію і кінцеву подію. Так як кожна подія має номер (шифр), то робота мережевої моделі також має свій номер (шифр), який визначається початковим і кінцевим шифрами її подій. Наприклад, робота «монтаж колон», в якій шифр початкової події – 2, а кінцевої події – 3, має шифр «2-3» або «2,3» (рис. 2.2.).

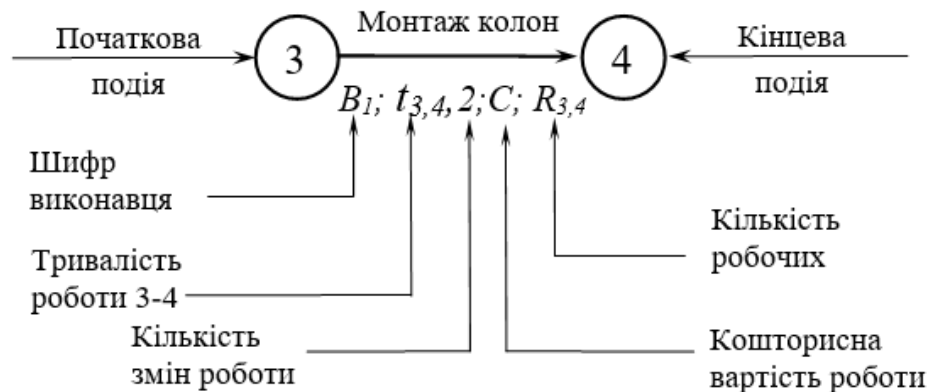


Рис. 2.2. Графічне зображення роботи

Технологічна перерва (очікування) – час, витрачений на технологічні і організаційні перерви між роботами (твердіння бетону, висихання пофарбованих поверхонь і т. п.). Очікування не вимагає витрат праці і ресурсів і зображується на графіку суцільною лінією із зазначенням його найменування та тривалості (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Графічне зображення технологічної перерви

Фіктивна робота (залежність) – процес, який не вимагає для свого виконання ні часу, ні витрат і вказує на технологічну залежність одних робіт від інших. Залежність зображується пунктирною лінією (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Графічне зображення фіктивної роботи (залежність)

Шлях – безперервна послідовність робіт в мережевому графіку. Його довжина визначається сумою тривалості складових його робіт (рис.2.5).

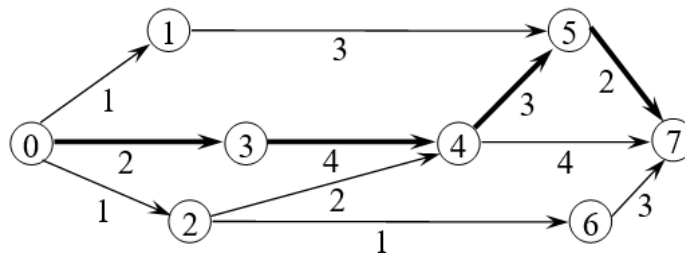


Рис. 2.5. Графічне зображення шляху мережевої моделі

У мережевому графіку між вихідною і завершальною подіями є кілька шляхів:

Повний шлях – шлях від вихідної до завершальної події.

Попередній шлях – ділянка повного шляху від вихідної події до тієї, що розглядається.

Подальший шлях – шлях від даної події до будь-якої подальшої.

Критичний шлях – шлях максимальної довжини, тобто шлях з найбільшою тривалістю з усіх повних шляхів. У графіку може бути кілька критичних шляхів.

Критичні роботи – роботи, які знаходяться на критичному шляху. Збільшення тривалості критичної роботи відповідно збільшує загальну

тривалість робіт мережевого графіка, а її скорочення призводить до скорочення довжини критичного шляху.

Підкритичний шлях – шлях, тривалість якого трохи менше критичного шляху на задану величину.

Підкритична зона робіт – сукупність всіх критичних і підкритичних шляхів.

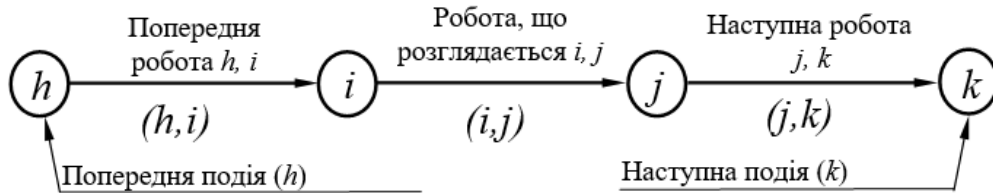


Рис. 2.6. Загальна схема кодування подій та робіт

i – код початкової події роботи, що розглядається;

j – код кінцевої події роботи, що розглядається;

$i-j$ або (i, j) – код роботи, що розглядається, початкова подія якої i , а кінцева – j ;

h – код початкової події роботи, що передуює початковій події роботи, що розглядається;

$h-i$ або (h, i) – код попередньої роботи;

k – код кінцевої події роботи, що є наступною після кінцевої події роботи, що розглядається;

$j-k$ або (j, k) – код робіт, наступних після кінцевих події роботи, що розглядається.

До розрахункових часових параметрів мережевих графіків належать:

L – шлях;

$L_{кр}$ – критичний шлях;

t_L – тривалість шляху;

$t_L^{кр}$ – тривалість критичного шляху;

$t_{i,j}$ або t_{i-j} – тривалість роботи i, j ;

$t_{i,j}^{PP}$ – ранній початок роботи i, j ;

$t_{i,j}^{PЗ}$ – раннє закінчення роботи i, j ;

$t_{i,j}^{ПП}$ – пізній початок роботи i, j ;

$t_{i,j}^{ПЗ}$ – пізнє закінчення роботи i, j ;

$R_{i,j}$ – загальний (повний) резерв часу роботи i, j ;

$r_{i,j}$ – частковий (вільний) резерв часу роботи i, j .

Ранній початок роботи $t_{i,j}^{PI}$ – самий ранній з можливих термінів початку робіт, який визначається тривалістю максимального шляху від вихідної події до початкової події розглянутої роботи. Ранній початок даної роботи дорівнює найбільшому з ранніх закінчень робіт, що входять в початкову подію даної роботи:

$$t_{i,j}^{PI} = \max(t_{h,i}^{PI} + t_{h,i}) = \max(t_{h,i}^{P3}). \quad (2.1)$$

Ранній початок всіх робіт, що виходять з вихідної події мережевого графіка, приймається рівним нулю: $t_{i,j}^{PI} = 0$.

Раннє закінчення роботи $t_{i,j}^{P3}$ – самий ранній з можливих термінів закінчення робіт, тобто час закінчення роботи, розпочатої в ранній термін:

$$t_{i,j}^{P3} = t_{i,j}^{PI} + t_{i,j}. \quad (2.2)$$

Пізній початок роботи $t_{i,j}^{PII}$ – самий пізній термін початку роботи, при якому тривалість критичного шляху не змінюється. Пізній початок даної роботи дорівнює різниці між величинами її пізнього закінчення і тривалості:

$$t_{i,j}^{PII} = t_{i,j}^{P3} - t_{i,j}. \quad (2.3)$$

Пізній початок завершальної роботи дорівнює різниці між тривалістю критичного шляху (t_L^{KP}) і тривалістю даної роботи:

$$t_{заверш.}^{PII} = t_L^{KP} - t_{i,j}. \quad (2.4)$$

Пізнє закінчення роботи $t_{i,j}^{PI3}$ – самий пізній допустимий термін закінчення роботи, при якому тривалість критичного шляху не змінюється. Пізнє закінчення роботи дорівнює найменшому з пізніх початків наступних робіт:

$$t_{i,j}^{PI3} = \min(t_{j,k}^{PII}). \quad t_{i,j}^{PI3} = \min(t_{j,k}^{PI3} - t_{j,k}). \quad (2.5)$$

Пізніше закінчення завершальних робіт дорівнює тривалості критичного шляху:

$$t_{i,c}^{ПЗ} = t_L^{кР} = \max(t_{i,c}^{PЗ}), \quad (2.6)$$

де c – номер завершальної події.

Загальний (повний) резерв часу $R_{i,j}$ – максимальна кількість часу, на яку можна перенести початок даної роботи або збільшити її тривалість без зміни тривалості критичного шляху. Загальний резерв часу дорівнює різниці між однойменними пізніми і ранніми параметрами даної роботи:

$$R_{i,j} = t_{i,j}^{ПЗ} - t_{i,j}^{PЗ} = t_{i,j}^{ПП} - t_{i,j}^{PP} \quad (2.7)$$

або

$$R_{i,j} = t_{i,j}^{PЗ} - t_{i,j}^{PP} - t_{i,j}. \quad (2.8)$$

Вільний резерв часу роботи $r_{i,j}$ – максимальна кількість часу, на яку можна перенести початок роботи чи збільшити її тривалість без зміни раннього початку наступних робіт. Вільний резерв часу має місце в разі, якщо виконання декількох робіт є умовою початку однієї подальшої роботи.

Вільний резерв часу дорівнює різниці між раннім початком подальшої роботи і раннім закінченням даної роботи:

$$r_{i,j} = t_{j,k}^{PP} - t_{i,j}^{PЗ}. \quad (2.9)$$

Роботи мережевих графіків, у яких ранні та пізні терміни робіт збігаються, які не мають загальних та вільних резервів часу, є роботами критичного шляху:

$$R_{i,j} = r_{i,j} = 0. \quad (2.10)$$

2.1.2. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання.

Для визначення тривалостей виконання окремих робіт скористуємося вихідними даними, які були сформовані для попередніх задач 1 ÷ 3.

Див. приклад таблиця 2.1.

Таблиця 2.1.

<i>K</i>	<i>o</i>	<i>v</i>	<i>a</i>	<i>л</i>	<i>ь</i>		<i>Д</i>	<i>м</i>	<i>и</i>	<i>т</i>	<i>р</i>	<i>o</i>		<i>В</i>	<i>i</i>	<i>к</i>	<i>т</i>	<i>o</i>	<i>р</i>	<i>o</i>	<i>v</i>	<i>и</i>	<i>ч</i>
7	3	5	7	6	5		2	5	4	2	1	3		5	6	7	2	3	1	3	5	4	7

Числа під літерами позначають тривалість i -того виду робіт на j -тій захватці – t_{ij} , дн.;

2.2. Розрахунок часових параметрів мережевих моделей безпосередньо на графіку

ЗАДАЧА 4.

2.2.1. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання задача 4.

1. Топологія мережевого графіку для всіх задана однакова рис. 2.7.

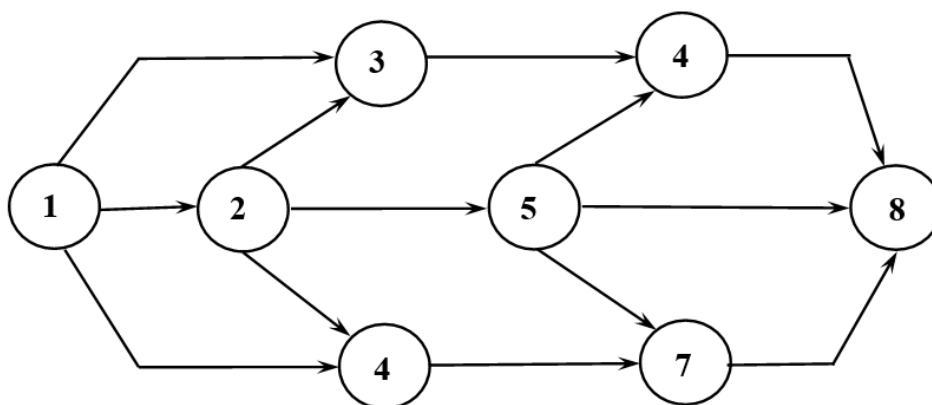


Рис. 2.7. Топологія мережевого графіку

2. Записуємо коди робіт мережевого графіку послідовно в табл. 2.2 та назначаємо кожній роботі тривалість за цифрами букв ПІБ підряд, починаючи з першої літери прізвища, а кількість робітників – у зворотному порядку, починаючи з останньої літери по-батькові (див. табл. 1.2).

Таблиця 2.2

Формування вихідних даних

Коди робіт	Тривалість роботи, t_{ij} , дні	Кількість робітників у бригаді, Rab_i , роб.
1-2	7	2
1-3	3	1
1-4	5	3
2-3	7	5
2-4	6	6
2-5	5	7
3-6	2	2
4-7	5	3
5-6	4	1
5-7	2	3
5-8	1	5
6-8	3	4
7-8	5	7

2.2.2. Приклад розрахунку.

Дано:

1. Топологія мережевої моделі рис. 2.8.
2. Тривалості виконання окремих робіт ($t_{i,j}$).
3. Кількість робітників по кожному з видів робіт.

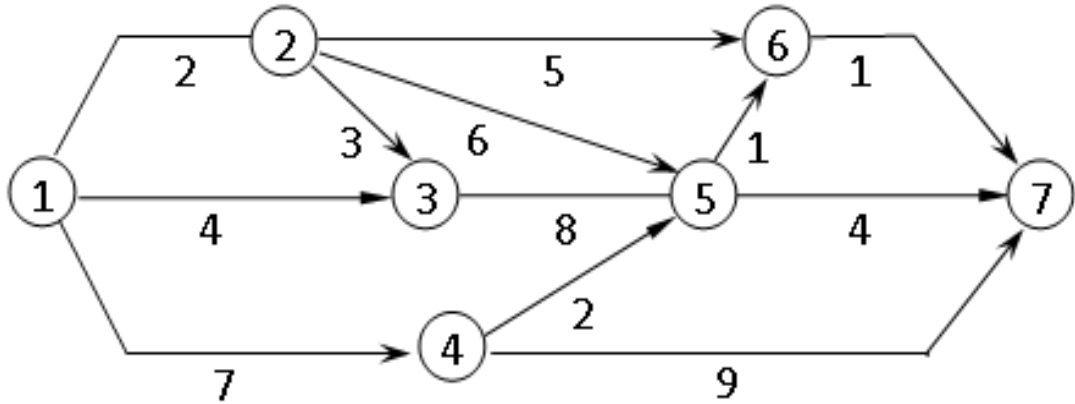


Рис. 2.8. Задана топологія мережевого графіку

Необхідно.

Визначити наступні часові параметри:

ранні початки робіт – $t_{i,j}^{PP}$; ранні закінчення робіт – $t_{i,j}^{PZ}$;

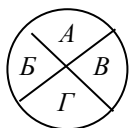
пізні початки робіт – $t_{i,j}^{ПП}$; пізні закінчення робіт – $t_{i,j}^{ПЗ}$;

загальні резерви часу – $R_{i,j}$; вільні резерви часу – $r_{i,j}$;

тривалість критичного шляху – t_L^{KP} .

Розрахунок.

Для розрахунку мережевої моделі безпосередньо на графіку, кожна подія ділиться на чотири сектори (A, B, B, Γ), в яких вказують наступні дані:



A – номер (шифр) події;

B – ранній початок робіт, що виходять з даної події;

B – пізні закінчення робіт, що входять в дану подію;

Γ – номер події, з якої до цієї йде максимальний шлях.

Готуємо мережеву модель до розрахунку часових параметрів рис. 2.9.

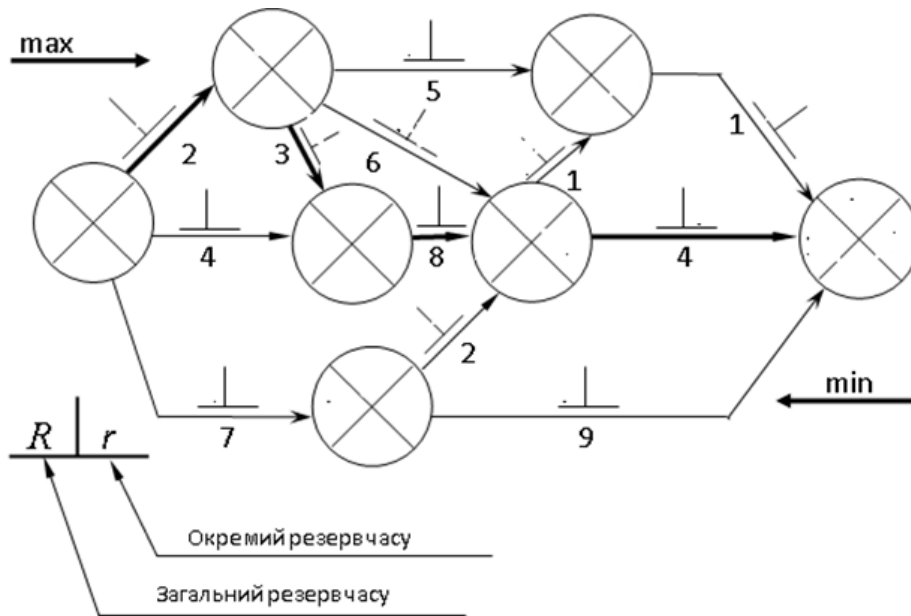


Рис. 2.9. Мережева модель підготовлена до розрахунку часових параметрів

1. Розрахунок ранніх початків робіт здійснюється на графічній моделі зліва направо. Дані розрахунку записуються в секторі *B*.

Ранній початок робіт, що виходять з вихідної події, дорівнює нулю. Номер події, з якої до цієї йде максимальний шлях також дорівнює нулю, оскільки попередньої події немає.

Для кожної наступної події в її секторі *B* записують ранній початок робіт, що виходять з неї. Якщо в поточну подію входить одна робота, то це значення дорівнює ранньому початку вхідної роботи плюс її тривалість:

$$t_{i,j}^{PP} = t_{h,i}^{PP} + t_{h,i}. \quad (2.11)$$

Якщо ж у розглянуту подію входять декілька робіт, то ранній початок робіт, що виходять з неї, дорівнює максимальному з закінчень всіх вхідних у неї робіт:

$$t_{i,j}^{PP} = \max(t_{h,i}^{PP} + t_{h,i}). \quad (2.12)$$

Наприклад, для події 2 в її секторі *B* записують 2, бо $\max(0 + 2) = 2$. Для події 3 записують 5, бо $\max(2 + 3; 0 + 4) = 5$.

Одночасно в секторі *Г* даної події записують номер події, з якої до даної події йде максимальний шлях. Наприклад, для події 2 максимальний шлях йде з події 1, а для події 3 з події 2.

2. Розрахунок пізніх закінчень робіт виконують, починаючи з завершальної події до початкової.

Для завершальної події j (у прикладі: $j = 7$) пізніше закінчення вхідних робіт дорівнює максимальному значенню з ранніх закінчень всіх вхідних в подію j робіт:

$$t_{i,j}^{PP} = \max(t_{h,i}^{PP} + t_{h,i}). \quad (2.13)$$

У наведеному прикладі, пізніше закінчення робіт, що входять в подію $j = 7$, так само: для роботи 6-7: $14 + 1 = 15$; для роботи 5-7: $13 + 4 = 17$ – max; для роботи 4-7: $7 + 9 = 16$.

Пізніше закінчення робіт, що виходять з інших подій, визначається наступним чином:

а) якщо з поточної події виходить одна робота, то пізніше закінчення всіх вхідних в цю подію робіт дорівнює пізньому закінченню вихідної роботи мінус її тривалість:

$$t_{h,i}^{PZ} = t_{i,j}^{PZ} - t_{i,j}. \quad (2.14)$$

Наприклад, для події № 6 пізніше закінчення робіт 2-6 та 5-6 дорівнює $17 - 1 = 16$.

б) якщо ж з даної події виходить декілька робіт, то пізніше закінчення всіх вхідних в цю подію робіт дорівнює мінімальному із значень різниці пізнього закінчення вихідних робіт і їх тривалості:

$$t_{h,i}^{PZ} = \min(t_{i,j}^{PZ} - t_{i,j}). \quad (2.15)$$

Наприклад, для події № 4 пізніше закінчення роботи 1-4 дорівнює $\min(13 - 2; 17 - 9) = 8$.

3. Критичний шлях у напрямку до вихідної події вказує номер події, з якої до розглянутої події (див. Значення сектора Γ поточної події) йде максимальний шлях. Якщо розглядати шлях від завершальної події, то він проходить через ті події i , в яких ранній початок вихідних з неї робіт та пізніше закінчення вхідних до неї робіт (сектори B та B подій) рівні:

$$t_{i,j}^{PP} = t_{h,i}^{PZ}. \quad (2.16)$$

4. Загальний резерв часу кожної роботи, як уже зазначалося вище, дорівнює:

$$R_{i,j} = t_{i,j}^{PZ} - t_{i,j}^{PZ} = t_{i,j}^{PP} - t_{i,j}^{PP}. \quad (2.17)$$

Так як значення $t_{i,j}^{P3}$, при використанні цього методу, не визначається, то його необхідно замінити на

$$t_{i,j}^{P3} = t_{i,j}^{PP} + t_{i,j}. \quad (2.18)$$

Тоді

$$R_{i,j} = t_{i,j}^{ПЗ} - (t_{i,j}^{PP} + t_{i,j}) = t_{i,j}^{ПЗ} - t_{i,j}^{PP} - t_{i,j}. \quad (2.19)$$

Наприклад, для роботи 2-5: $R_{2-5} = 13 - 2 - 6 = 5$.

5. Вільний резерв часу, як було показано раніше, дорівнює різниці між раннім початком наступних робіт і раннім закінченням даної роботи:

$$r_{i,j} = t_{наст.}^{PP} - t_{i,j}^{P3}. \quad (2.20)$$

Замінивши, як у випадку визначення загального резерву, $t_{i,j}^{P3} = t_{i,j}^{PP} + t_{i,j}$, отримаємо остаточну формулу розрахунку вільного резерву часу даним методом:

$$r_{i,j} = t_{j,k}^{PP} - t_{i,j}^{PP} - t_{i,j}. \quad (2.21)$$

Наприклад, для роботи 2-6: $r_{2,6} = 14 - 2 - 5 = 7$.

Результат розрахунку часових параметрів мережевого графіка представлені на графіку рис. 2.10.

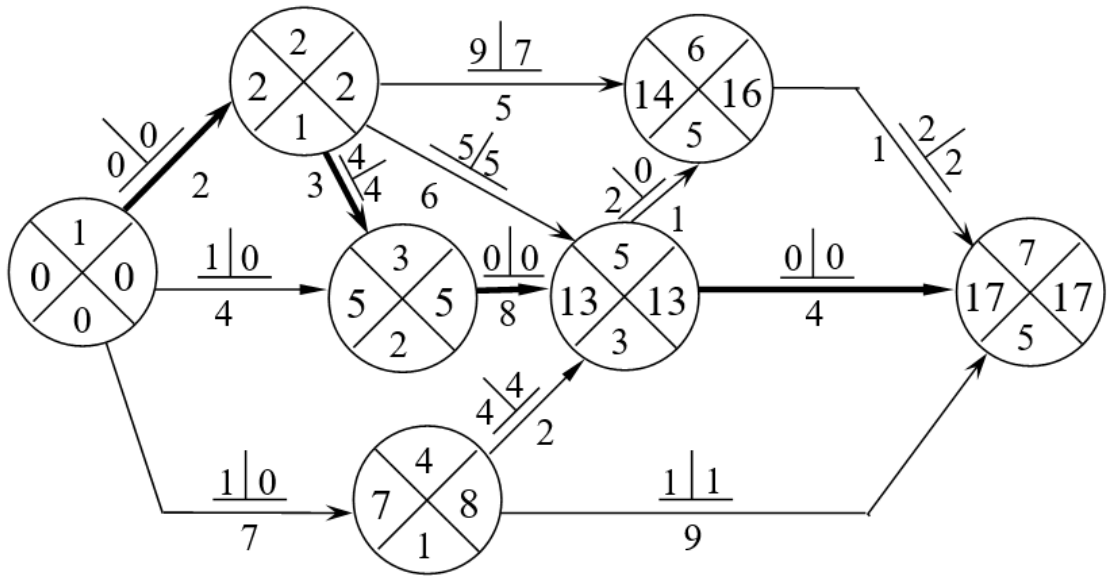


Рис. 2.10. Результат розрахунку часових параметрів

Результати розрахунків заносимо у таблицю (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Результати розрахунку

Шифр робіт	Тривалість робіт	Ранні початки робіт	Пізні закінчення робіт	Загальний резерв часу	Вільний резерв часу
1-2	2	0	2	0	0
1-3	4	0	5	1	1
1-4	7	0	8	1	0
2-3	3	2	5	0	0
2-5	6	2	13	5	5
2-6	5	2	16	9	7
3-5	8	5	13	0	0
4-5	2	7	13	4	4
4-7	9	7	17	1	1
5-6	1	13	16	2	0
5-7	4	13	17	0	0
6-7	1	14	17	2	2

Критичний шлях: 1-2-3-5-7. Довжина критичного шляху – 17 днів.

2.3. Перетворення мережевого графіка в лінійний (лінеаризація мережевого графіка)

ЗАДАЧА 5.

Визначивши часові параметри мережевого графіка та тривалість критичного шляху, слід перевірити забезпеченість плану робіт необхідними ресурсами та раціональність їх розподілу. Таку перевірку можна виконати перетворивши мережевий графік в лінійний графік Ганта.

Перебудова мережевого графіка в лінійний може здійснюватися як за ранніми строками так і за пізніми строками виконання робіт.

2.3.1. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання задача 5.

В якості вихідних даних для задачі № 5 використовуємо вихідні данні (кількість робітників по окремих роботах) та результати розрахунку часових параметрів в попередній задачі № 4.

2.3.2. Теоретичні передумови.

Послідовність (окремі етапи) побудови лінеаризації мережевого графіка за ранніми строками:

1) визначаємо часові параметри мережевого графіка з заданою топологією та тривалостями окремих робіт;

2) розробляємо таблицю для побудови лінеаризації мережевого графіка за ранніми строками;

3) від початку лінійки порядкових робочих днів визначаємо день раннього початку роботи (через скільки днів);

4) від визначеного на графіку раннього початку роботи відкладаємо тривалість роботи;

5) по закінченню тривалості (раннє закінчення роботи) роботи відкладаємо загальний резерв часу згідно розрахунку.

6) позначаємо критичні роботи та критичний шлях. Перевіряємо безперервність критичного шляху на графіку виконання робіт та виділяємо критичний шлях, поєднуючи окремі критичні роботи вертикальною штрих пунктирною лінією, що з'єднує закінчення попередньої критичної роботи з початком наступної критичної роботи.

7) розробляємо графік потреби у трудових ресурсах. Будуємо ресурсний профіль шляхом підсумовування кількості робітників по всіх бригадах, які працюють згідно плану у розглянутий день (враховуємо тільки графіки виконання робіт позначені суцільною лінією).

8) для графіка потреби у трудових ресурсах визначаємо: R_{max} , R_{cp} та β (формули розрахунку див. Задачі 1÷3).

Послідовність побудови лінеаризації мережевого графіка за пізніми строками:

1) визначаємо часові параметри мережевого графіка з заданою

топологією та тривалостями окремих робіт;

2) розробляємо таблицю для побудови лінеаризації мережевого графіка за пізніми строками;

3) від закінчення лінійки порядкових робочих днів визначаємо день пізнього закінчення роботи (через скільки днів);

4) від визначеного на графіку пізнього закінчення роботи відкладаємо тривалість роботи;

5) по закінченню тривалості (пізній початок роботи) роботи відкладаємо загальний резерв часу згідно розрахунку.

Етапи з 6 по 8 такі ж самі як при побудові лінеаризації мережевого графіка за ранніми строками.

Схема послідовності побудови лінеаризації мережевого графіка за ранніми строками виконання робіт надана на рис. 2.11.

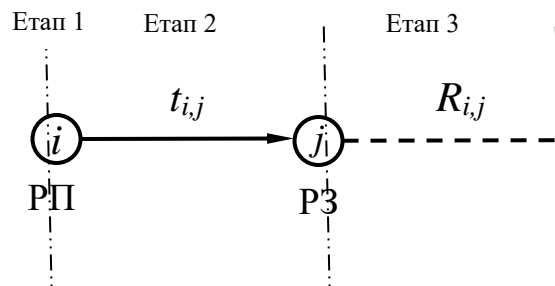


Рис. 2.11. Схема послідовності побудови лінеаризації мережевого графіка за ранніми строками виконання робіт

Схема послідовності побудови лінеаризації мережевого графіка за пізніми строками виконання робіт надана на рис. 2.12.

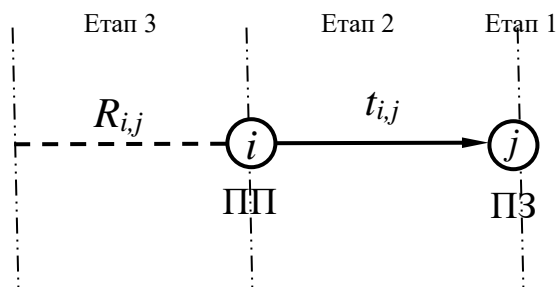


Рис. 2.12. Схема послідовності побудови лінеаризації мережевого графіка за пізніми строками виконання робіт

Критичні роботи не мають резервів часу $R_{i,j} = r_{i,j} = 0$.

2.3.3. Приклад розрахунку.

Дано:

1. Топологія мережевого моделі.
2. Тривалості виконання окремих робіт ($t_{i,j}$).
3. Кількість робітників по кожному з видів робіт.

Необхідно:

1. Виконати лінеаризацію мережевого графіка за ранніми строками виконання робіт;
2. Розробити графік потреби у трудових ресурсах за ранніми строками виконання робіт;
3. Виконати лінеаризацію мережевого графіка за пізніми строками виконання робіт;
4. Розробити графік потреби у трудових ресурсах за пізніми строками виконання робіт.

Розрахунок.

1. Розраховуємо часові параметри мережевої моделі рис. 2.13.

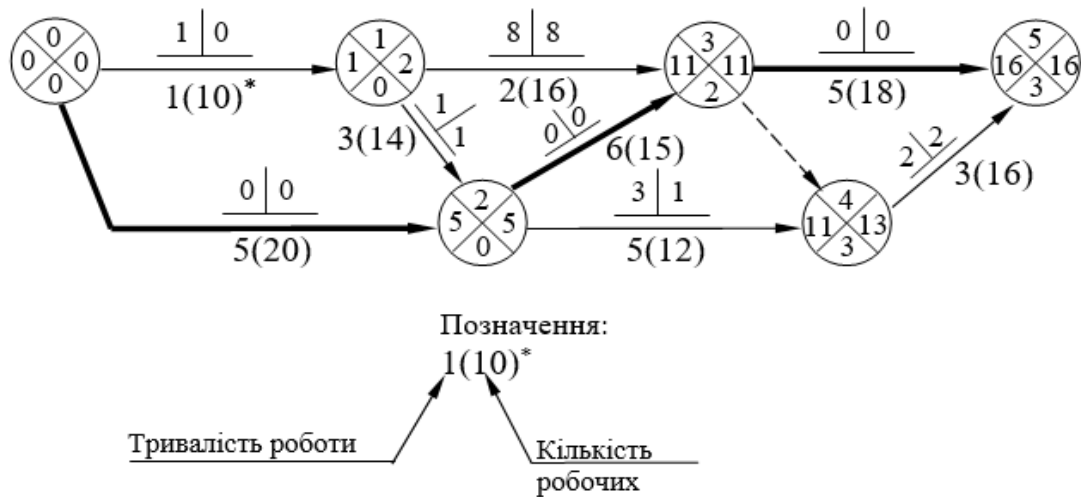


Рис. 2.13. Розрахунок часових параметрів

У відповідності до визначеної методики виконуємо перебудову мережевого графіка у лінійний (лінеаризація).

Лінеаризацію мережевого графіку виконуємо в таблиці, прив'язуючи роботи до лінійки порядкових робочих днів. Кількість порядкових робочих днів дорівнює тривалості критичного шляху $t_L^{KP} = 16$ днів.

2. Виконуємо лінеаризацію мережевого графіку спочатку за ранніми строками виконання робіт. Розраховані часові параметри мережевого графіку, які необхідні для лінеаризації представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Часові параметри, необхідні для лінеаризації мережевого графіку за ранніми строками виконання робіт

Шифр робіт	Тривалість робіт	Ранні початки робіт	Загальний резерв часу
0-1	1	0	1
0-2	5	0	0
1-2	3	1	1

Шифр робіт	Тривалість робіт	Ранні початки робіт	Загальний резерв часу
1-3	2	1	8
2-3	6	5	0
2-4	5	5	3
3-4	фіктивна робота	-	-
3-5	5	11	0
4-5	3	11	2

Керуючись методикою, викладеною у пункті 2.3.2. Теоретичні передумови, будемо лінеаризацію мережевого графіка та розробляємо графік потреби у трудових ресурсах за ранніми строками виконання робіт рис. 2.14.

Умовні позначення до графіку виконання робіт:

- – графічне зображення часу виконання роботи;
- – графічне зображення загального резерву часу роботи;
- =====
14 – графічне зображення часу виконання критичної роботи;
- – кількість робітників у бригаді.

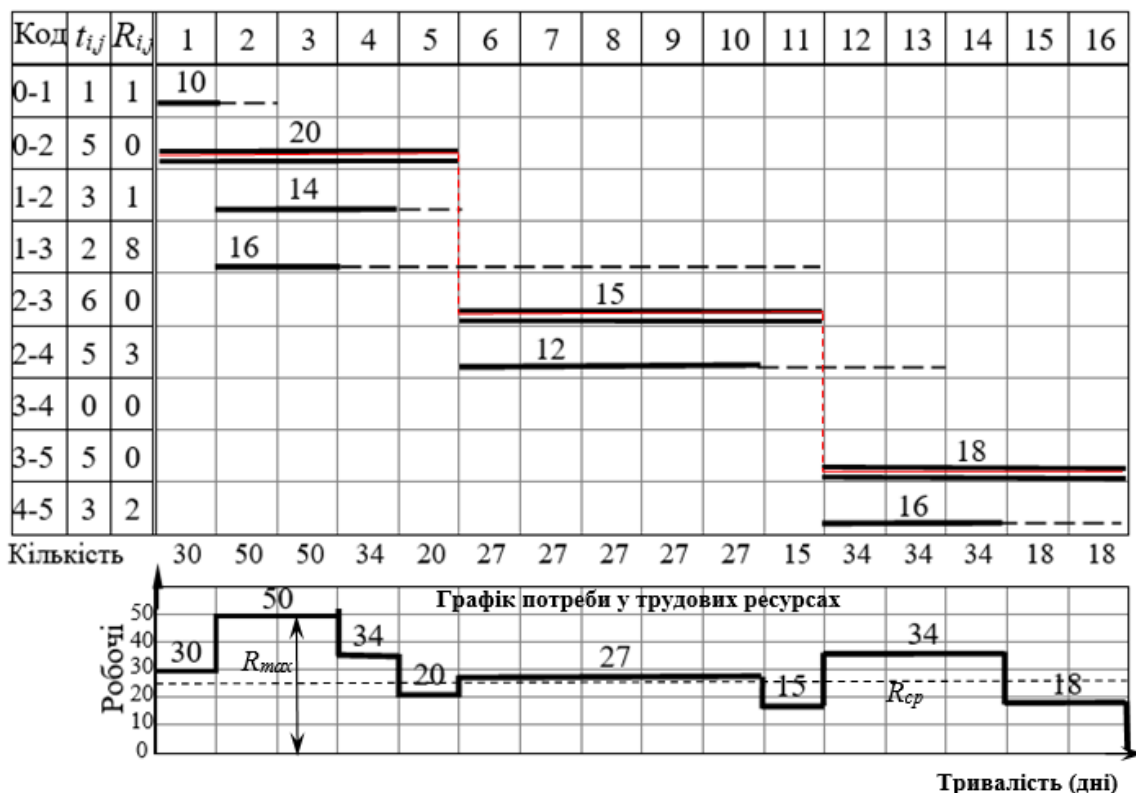


Рис. 2.14. Перетворення мережевого графіка (см. рис. 2.13) в лінійний за ранніми строками (ранніх початках робіт)

3. Наступним виконуємо лінеаризацію мережевого графіка за пізніми строками виконання робіт. Розраховані часові параметри мережевого графіка, які необхідні для лінеаризації, представлені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Часові параметри, необхідні для лінеаризації мережевого графіку за пізніми строками виконання робіт

Шифр робіт	Тривалість робіт	Пізнє закінчення робіт	Загальний резерв часу
0-1	1	2	1
0-2	5	5	0
1-2	3	5	1
1-3	2	11	8
2-3	6	11	0
2-4	5	13	3
3-4	фіктивна робота	-	-
3-5	5	16	0
4-5	3	16	2

Керуючись методикою, викладеною у пункті 2.3.2. Теоретичні передумови, будуємо лінеаризацію мережевого графіка та розробляємо графік потреби у трудових ресурсах за пізніми строками виконання робіт рис. 2.15.

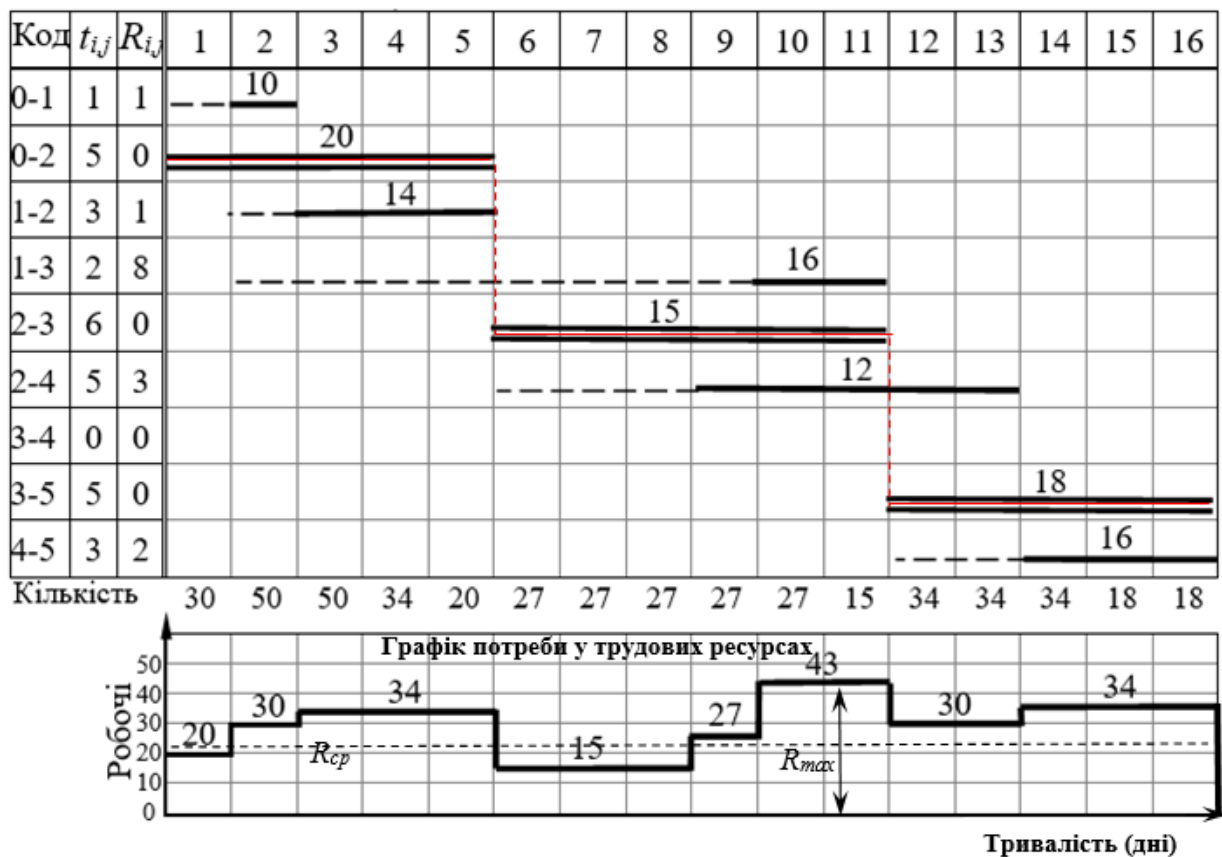


Рис. 2.15. Перетворення мережевого графіка (см. рис. 2.13) в лінійний за пізніми строками (пізніх закінченнях робіт)

2.4. Розробка та розрахунок мережевого графіка роботи спеціалізованого будівельного потоку

ЗАДАЧА 6.

2.4.1. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання задача 6.

Для проектування пропонується наступні спеціалізовані потоку (обрати один), які входять до складу об'єктного потоку – будівництво промислової будівлі:

- 1) улаштування монолітного залізобетонного фундаменту;
- 2) улаштування покрівлі з рулонного матеріалу.

Тривалості виконання окремих робіт на окремих захватках приймаємо керуючись вихідними даними для задач 1÷3 (матриця тривалостей розміром 4x5), визначеними згідно пункту 1.1.2. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання.

Пропонується наступні варіанти номенклатури робіт у складі спеціалізованого потоку, які проектується (обрати один з варіантів):

1. Улаштування монолітного залізобетонного фундаменту:
 - улаштування опалубки;
 - армування;
 - бетонування;
 - демонтаж опалубки.
2. Улаштування покрівлі з рулонного матеріалу:
 - влаштування вирівнюючого шару стяжки;
 - влаштування пароізоляції;
 - влаштування утеплювача;
 - влаштування рулонного покриття.

Для визначення кількості захваток, використовуємо відповідний до обраного спеціалізованого потоку схематичний план промислової будівлі рис. 2.16 та рис. 2.17.

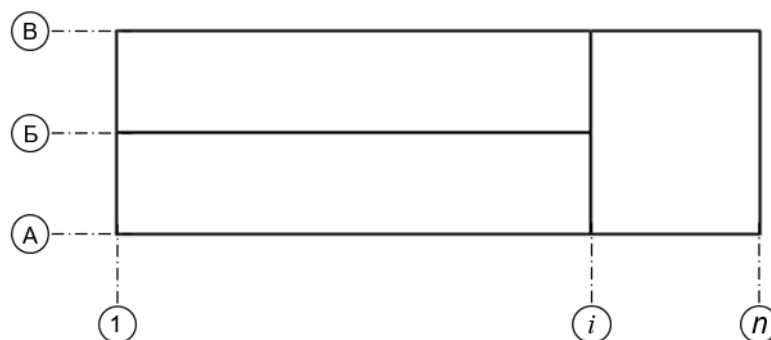


Рис. 2.16. Схематичний план промислової будівлі для 1 варіанту

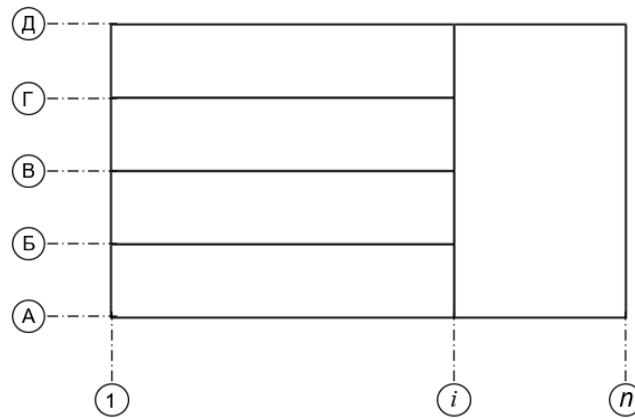


Рис. 2.17. Схематичний план промислової будівлі для 2 варіанту

2.4.2. Теоретичні передумови.

Потоковий метод є основою організації будівельного виробництва, при якому досягається ритмічність виробництва та висока продуктивність праці. В основі організації потоку лежить спеціалізація, яка передбачає максимальне розчленування кожного виду роботи на окремі технологічні частини – роботи, процеси, операції. Кожна з цих частин доручається окремому виконавцю – робітнику, ланці, бригаді.

Роботи при поточковому методі ведуться комплексними або спеціалізованими потоками, склад яких, як правило, не змінюється від початку до кінця робіт. Спеціальні монтажні роботи (в тому числі і санітарно-технічні) є частиною будівельного процесу зі зведення будівель і споруд, тому виконання цих робіт повинно бути тісно ув'язаним в часі і просторі з загальнобудівельними роботами.

Спеціалізований потік – сукупність технологічно ув'язаних часткових потоків, об'єднаних єдиною системою параметрів та схемою потоку. Продукцією спеціалізованого потоку є закінчений вид робіт, конструктивний елемент, частина будинку або споруди (підземна частина, влаштування фундаментів, надземна частина, покрівельні роботи, оздоблювальні роботи).

Таким чином, для створення будівельного потоку необхідно: виробничий процес розділити на процеси (операції); розділити роботу між виконавцями; створити виробничий ритм; сумістити під час виконання складові процеси.

Умови поєднання робіт у потоки: а) роботи приймають участь у єдиному технологічному процесі; б) роботи виконуються одним будівельним механізмом чи машиною; в) роботи виконуються однією будівельною бригадою чи будівельною організацією.

Правила розбивки на захватки: а) розбивку на захватки виконують одночасно з вибором схеми виробництва робіт; б) захваткою має бути окремий об'єкт або цілісний конструктивний елемент будівлі; в) на захватці повинна бути забезпечена стійкість та жорсткість конструкції; г) захватка повинна забезпечувати фронт для наступного виду робіт; д) обсяг одного виду робіт захватках повинен бути однаковим.

Послідовність виконання задачі:

- 1) визначити номенклатуру робіт потоку, який проєктується (задано);
- 2) поділити об'єкт на захватки, відповідно технологічному процесу, який проєктується;
- 3) розрахувати тривалість кожної роботи на кожній захватці об'єкту (задано);
- 4) визначити організаційно-технологічний взаємозв'язок між окремими роботами потоку;
- 5) розробити мережеву модель потоку;
- 6) розрахувати часові параметри мережевого графіка;
- 7) визначити критичний шлях та критичні роботи.

2.4.3. Приклад розрахунку.

Дано:

- 1) спеціалізований будівельний потік, що проєктується – «Роботи нульового циклу»;
- 2) номенклатура робіт спеціалізованого потоку, який проєктується:
 - розробка ґрунту екскаватором;
 - підчищення ґрунту в ручну;
 - влаштування підготовки під фундаменти.
- 3) схематичний план промислової будівлі рис. 2.18:

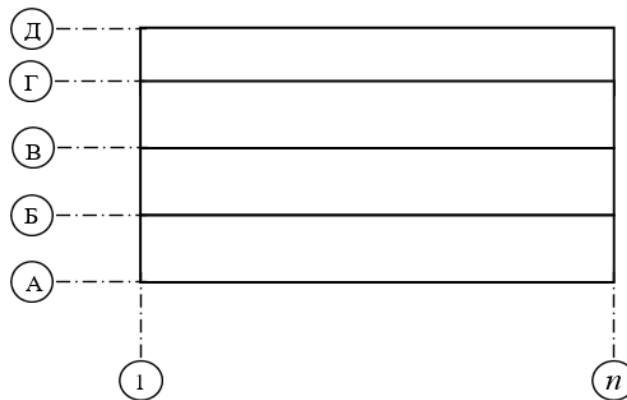


Рис. 2.18. Заданий схематичний план промислової будівлі

- 4) тривалість робіт спеціалізованого потоку «Роботи нульового циклу» на кожній захватці об'єкту ($t_{i,j}$):

6	5	3	3	4
3	2	3	3	2
5	5	4	3	2

Необхідно:

- 1) керуючись організаційно-технологічними взаємозв'язками між окремими роботами потоку, розробити топологію мережевої моделі обраного спеціалізованого потоку;
- 2) розрахувати часові параметри мережевого графіка:

- ранні початки робіт – $t_{i,j}^{PP}$; ранні закінчення робіт – $t_{i,j}^{PЗ}$;
- пізні початки робіт – $t_{i,j}^{ПП}$; пізні закінчення робіт – $t_{i,j}^{ПЗ}$;
- загальні резерви часу – $R_{i,j}$; вільні резерви часу – $r_{i,j}$;
- тривалість критичного шляху – t_L^{KP} .

3) визначити критичний шлях та критичні роботи.

Розрахунок.

Згідно заданому схематичному плану промислового будинку, який проєктується, а також керуючись теоретичними передумовами (див. пункт 2.4.2), поділяємо об'єкт на захватки рис. 2.19.

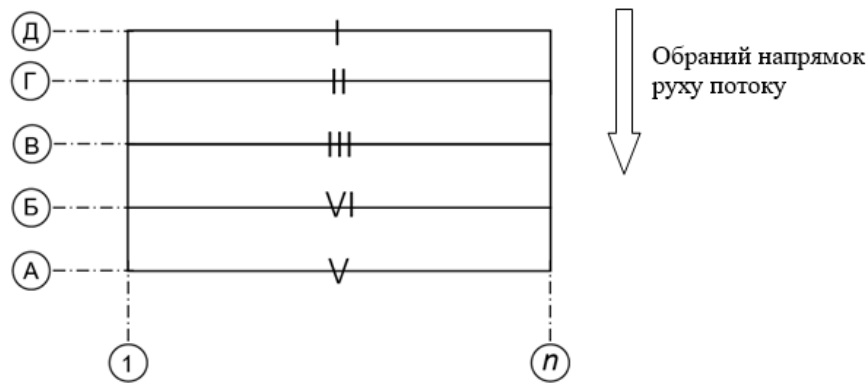


Рис. 2.19. Схема розбивки об'єкта на захватки

Дотримуючись правил побудови мережевих графіків та методології організації робіт потоком методом, розробляємо топологію роботи спеціалізованого потоку (рис. 2.20), попередньо визначившись технологічну залежність між собою окремих робіт, які входять до номенклатури робіт.

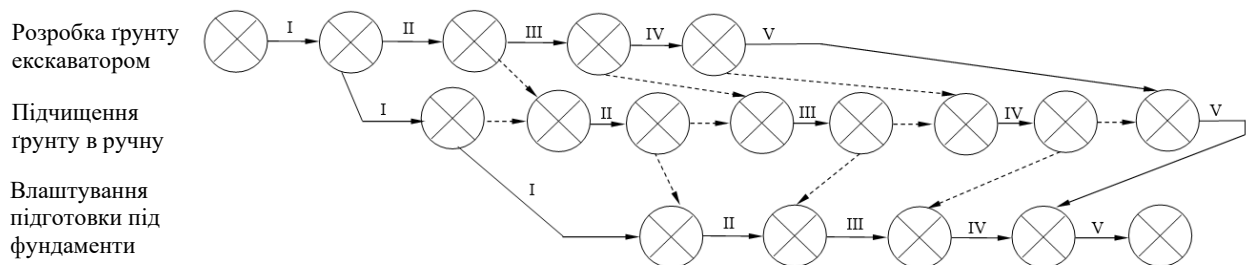


Рис. 2.20. Топологія мережевого графіка спеціалізованого потоку

Для визначення часових параметрів мережевого графіка використовуємо графічний метод «На графіку» (див. Задачу 4). Результати розрахунку часових параметрів мережевого графіка роботи спеціалізованого потоку методом «На графіку» рис. 2.21.

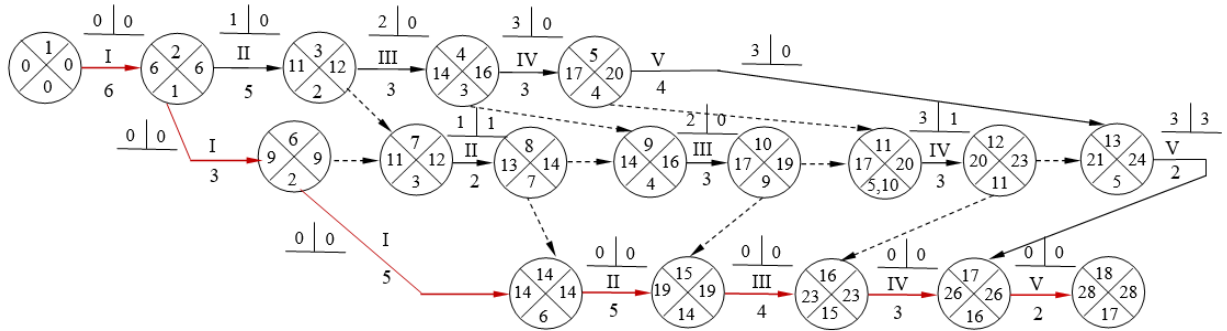


Рис. 2.21. Результати розрахунку часових параметрів мережевого графіка методом «На графіку»

– Критичний шлях: 1-2-6-14-15-16-17-18. Тривалість критичного шляху – $t_L^{KP} = 28$ днів.

2.5. Розробка та розрахунок мережевого графіка «вершина-робота»

ЗАДАЧА 7.

2.5.1. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання задача 7.

В якості вихідних даних можна використовувати вихідні дані задачі 4.

2.5.2. Теоретичні передумови.

В задачах 4÷6 було розглянуто один з існуючих методів побудови мережевих графіків «вершина-подія» рис. 2.22.

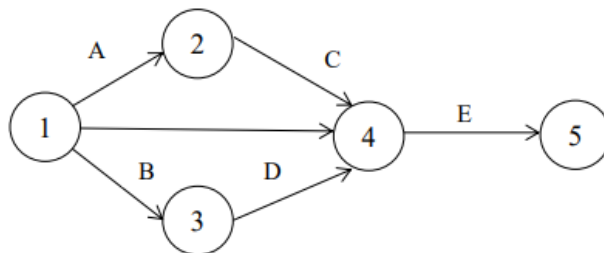


Рис. 2.22. Приклад мережевих графіків «вершина-подія»

В задачі розглянемо ще один метод побудови мережевих графіків «вершина-робота», який отримав широке застосування у зв'язку з використанням у програмному забезпеченні розробки календарних планів.

На відміну від мережевих графіків «вершина-подія» у мережевих графіках «вершина-робота» роботи представлені у вигляді прямокутників, а стрілками позначаються організаційно-технологічні зв'язки рис. 2.23.

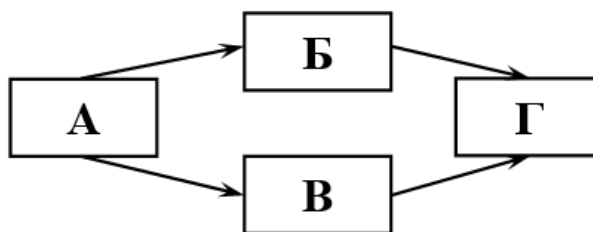


Рис. 2.23. Приклад мережевого графіка «вершини роботи»

Побудову мережевого графіка «вершина-робота» починаємо шляхом розміщення прямокутників робіт послідовно ліворуч, застосовуючи правила побудови мережевого графіка.

При виконанні моделювання методом «вершина-робота» основним елементом є семисегментний прямокутник, у складі якого відображені параметри: початку, закінчення, тривалості, резерву часу та найменування або номера робіт рис. 2.24.

Ранні початки робіт $t_{i,j}^{PI}$	Тривалість роботи $t_{i,j}$	Ранні закінчення робіт $t_{i,j}^{P3}$
Назва роботи або шифр роботи		
Пізні початки робіт $t_{i,j}^{PII}$	Загальні резерви часу / Вільні резерви часу $R_{i,j} / r_{i,j}$	Пізні закінчення робіт $t_{i,j}^{PI3}$

Рис. 2.24. Схема зображення роботи на мережевому графіку «вершина-робота» та розташування часових параметрів роботи у семисегментному прямокутнику

Часові параметри мережевого графіка «вершина-робота» розраховуються аналогічно розрахунку часових параметрів мережевого графіка «вершина-подія» (див. пункт 2.1.1. Теоретичні передумови).

Мережеві графіки «вершина-робота» широко використовуються у комплексному програмному забезпеченні, наприклад MS Project – система планування, управління будівельним виробництвом та спосіб оптимізації ресурсних профілів будівельних проектів. MS Project є потужним аналітичним інструментом, який орієнтований на невелику кількість користувачів і проектів, використовує там, де потрібен складений кошторис та покрокові плани реалізації будівельних проектів. Робота ведеться з наступними опціями: «роботи», «ресурси» та «календар» рис. 2.25.

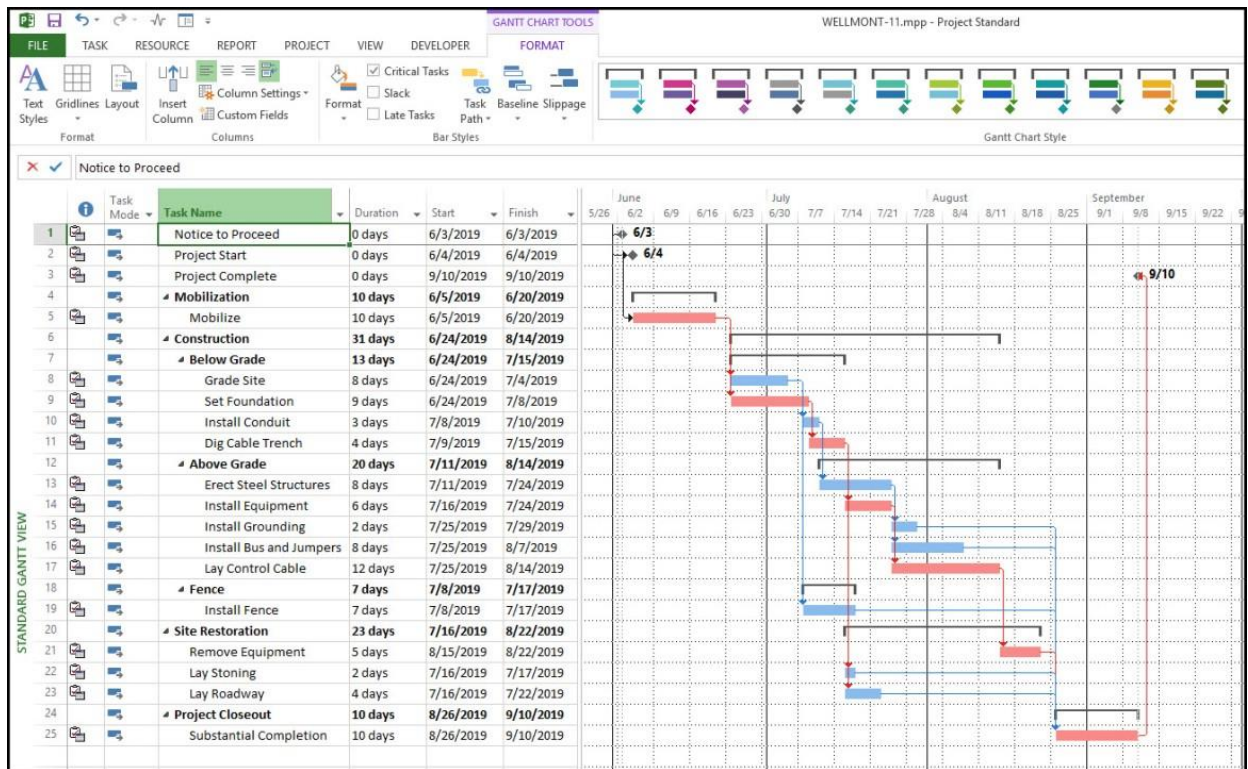


Рис. 2.25. Календарний графік, розроблений в Microsoft Project

2.5.3. Приклад розрахунку.

Дано:

- 1) організаційно-технологічні в'язки між будівельними процесами табл. 2.5;
- 2) тривалість виконання окремих робіт будівельного проекту табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Організаційно-технологічні в'язки та тривалість виконання окремих робіт будівельного проекту

Назва роботи	Кількість попередніх робіт	Тривалість роботи, дні
А	0	2
Б	А	5
В	А	3
Г	Б	3
Д	Б, В	5
Є	В	2
Ж	Г, Д	2
І	Д, Є	7
З	Д	4
К	Ж, З, І	1

Необхідно:

- 1) розробити топологію мережевого графіка «вершина-робота»;
- 2) розрахувати часові параметри мережевого графіка «вершина-робота»:

- ранні початки робіт – $t_{i,j}^{PP}$; ранні закінчення робіт – $t_{i,j}^{P3}$;
- пізні початки робіт – $t_{i,j}^{ПП}$; пізні закінчення робіт – $t_{i,j}^{ПЗ}$;
- загальні резерви часу – $R_{i,j}$; вільні резерви часу – $r_{i,j}$;
- тривалість критичного шляху – t_L^{KP} ;

- 3) визначити кричний шлях та критичні роботи.

Розрахунок.

Для визначення часових параметрів мережевого графіка «вершина-робота» використовуємо математичні залежності представлені у пункті теоретичних передумов до задачі 4 (див. пункт 2.1.1).

Результати розрахунку часових параметрів мережевого графіка «вершина-робота» представлені на рис. 2.26.

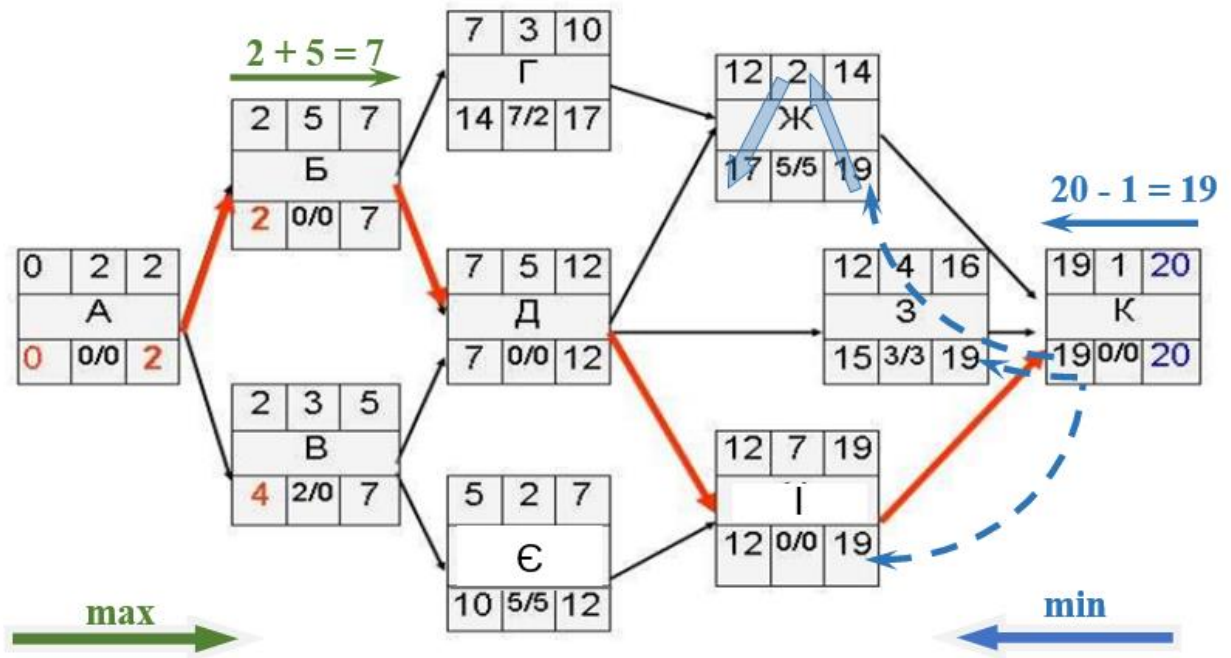


Рис. 2.26. Результати розрахунку часових параметрів мережевого графіка «вершина-робота»

Критичний шлях: А-Б-Д-І-К, тривалість критичного шляху – $t_L^{KP} = 20$ днів.

Контрольні питання.

1. Основні переваги мережевих графіків.
2. Назвіть основні елементи мережевої моделі.

3. Як у мережевому моделюванні визначається ранні строки виконання робіт?
4. Як визначається у мережевому моделюванні пізні строки виконання робіт?
5. Що таке загальний резерв часу у мережевому моделюванні та як розраховується?
6. Що таке критичні роботи та критичний шлях?
7. Що таке вільний резерв часу у мережевому моделюванні та як розраховується?

ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. ДБН А.2.2-3-2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. Київ : Мінрегіон України, 2014. 45 с.
2. ДБН А.3.1-5-2016. Організація будівельного виробництва. Київ : Мінрегіон України, 2016. 68 с.
3. ДСТУ 9243.4:2023. Основні вимоги до проектної та робочої документації. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 32 с.
4. ДСТУ Б А.3.1-22:2013. Визначення тривалості будівництва об'єктів. Київ : Мінрегіон України, 2013. 28 с.
5. Технологія будівельного виробництва : підручник / М. Г. Ярмоленко, Є. Г. Романушко, В. І. Терновий та ін. За ред. М. Г. Ярмоленка. – 2-ге вид., допов. і перероб. Київ : Вища школа, 2005. 342 с.
6. Технологія будівельного виробництва : навч. посіб. / М. Г. Ярмоленко, Є. Г. Романушко, О. Ф. Осипов та ін. За ред. М. Г. Ярмоленка. Київ : Вища школа, 2007. 207 с.
7. Дадіверіна Л. М., Дадіверіна Г. В. Методи розрахунку часових і просторових параметрів організації зведення будівель і споруд : навч. посіб. Дніпро : Пороги, 2012. 168 с.
8. Організація будівництва: підручник / С. А. Ушацький, Ю. П. Шейко, Г. М. Тригер та ін. За ред. С. А. Ушацького. Київ : Кондор, 2007. 521 с.
9. Дорош А. М. Організація будівельного виробництва : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2011. 255 с.
10. Організація проектної діяльності: навч. посіб. / Л. В. Шинкарук, В. П. Биховченко, Т. О. Власенко, Ю. Г. Власенко. Київ : НУБіП України, 2021. 341 с.

Допоміжна

1. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 54 с.
2. Енергозбереження у житловому фонді: проблеми, практика, перспективи : довідник / С. Вольфф, Г. Онищук, Л. Вуллкопф та ін. Київ : НДІпроектреконструкція, 2006. 144 с.
3. Рекомендації з вибору прогресивних архітектурно-технічних рішень для реконструкції житлових будинків різних конструктивних систем. Київ : Нора-Прінт, 2001. 262 с.
4. Рекомендації з модернізації інженерного обладнання житлових будинків перших масових серій. Київ : Український центр духовної культури, 2002. 80 с.
5. Портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://e-construction.gov.ua/> (дата звернення 01.10.2025).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПЛАНУВАННІ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА	6
1.1. Формування початкових даних.....	7
1.1.1. Теоретичні передумови.....	7
1.1.2. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання.....	11
1.2. Розрахунок параметрів та ув'язка робіт будівельних потоків за умови безперервності використання ресурсів. Задача 1.....	12
1.3. Розрахунок параметрів та ув'язка робіт будівельних потоків за умови безперервності завантаження фронтів робіт. Задача 2.....	16
1.4. Розрахунок параметрів та ув'язка робіт будівельних потоків за умови безперервності виконання критичних робіт. Задача 3.....	20
1.5. Аналіз результатів виконаних розрахунків.....	23
<i>Контрольні питання.....</i>	<i>24</i>
2. МЕРЕЖЕВЕ ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ БУДІВНИЦТВОМ.....	25
2.1. Формування початкових даних.....	25
2.1.1. Теоретичні передумови.....	25
2.1.2. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання.....	30
2.2. Розрахунок часових параметрів мережеских моделей безпосередньо на графіку. Задача 4.....	31
2.2.1. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання. Задача 4.....	31
2.2.2. Приклад розрахунку.....	32
2.3. Перетворення мережевого графіка в лінійний (лінеаризація мережевого графіка). Задача 5.....	37
2.3.1. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання. Задача 5.....	37
2.3.2. Теоретичні передумови.....	37
2.3.3. Приклад розрахунку.....	38
2.4. Розробка та розрахунок мережевого графіка роботи	

спеціалізованого будівельного потоку. Задача 6.....	42
2.4.1. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання. Задача 6.....	42
2.4.2. Теоретичні передумови.....	43
2.4.3. Приклад розрахунку.....	44
2.5. Розробка та розрахунок мережевого графіка «вершина-робота». Задача 7.....	46
2.5.1. Визначення вихідних даних для виконання індивідуального завдання. Задача 7.....	46
2.5.2. Теоретичні передумови.....	46
2.5.3. Приклад розрахунку.....	48
<i>Контрольні питання</i>	51
ЛІТЕРАТУРА	51

Навчальне видання

Дадіверіна Лілія Миколаївна
Лаухін Дмитро Вячеславович
Зіборов Кирило Альбертович
Гапєєв Сергій Миколайович
Вигодін Михайло Олександрович
Халимендик Олексій Володимирович
Кравченко Костянтин Валерійович

**МАТРИЧНІ ТА МЕРЕЖЕВІ МОДЕЛІ В ПЛАНУВАННІ
БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА
Практикум**

Навчальний посібник

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.
Підписано до видання2025. Авт. арк. ...

Підготовлено до видання
у Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

