

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні

**М.О. Полтавець**

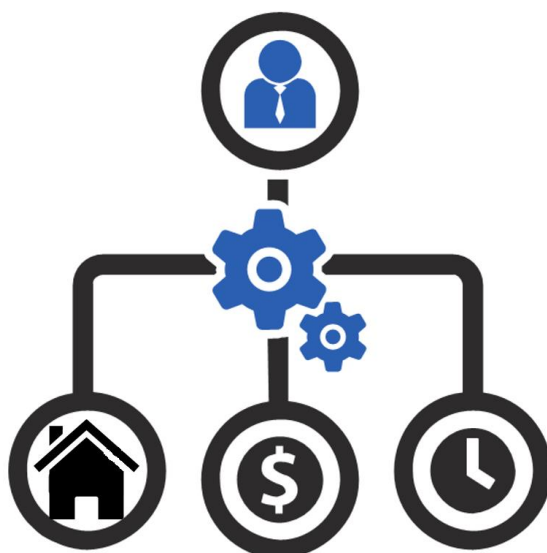


## **ДЕВЕЛОПМЕНТ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ**

**Методичні вказівки  
до практичних занять**

*для здобувачів ступеня вищої освіти магістра  
спеціальності 192 “Будівництво та цивільна інженерія”*

Затверджено  
вченою радою ЗНУ  
Протокол № \_\_ від \_\_.\_\_.\_\_



Запоріжжя  
2023

УДК 658.5:69(075)  
П 12

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

**Полтавець М.О.** Девелопмент інвестиційно-будівельної діяльності будівельних організацій: методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 192 “Будівництво та цивільна інженерія” освітньо-професійної програми «Промислове та цивільне будівництво». Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 59 с.

У методичних вказівках подано в систематизованому вигляді програмний матеріал практичної частини дисципліни «Девелопмент інвестиційно-будівельної діяльності будівельних організацій». Розроблено практичну проблематику організації будівництва складних проектів у встановлений термін на основі потокових моделей з обмеженою пропускною здатністю. Запропоновані корисні практичні завдання з опанування основ створення проектів девелопменту та оптимізації управлінської діяльності інвестиційно-будівельних процесів.

Для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 192 - “Будівництво та цивільна інженерія”.

**Рецензенти: Рецензент-1,** доктор технічних наук, професор  
кафедри промислового та цивільного будівництва

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

**Рецензент-2,** доктор технічних наук, професор  
кафедри промислового та цивільного будівництва

**Відповідальний за випуск І.А. Арутюнян,** доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва.

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Зміст

**ПРОЄКТ**

Полтавець

Марина

Олександрівна

стор.  
4

ВСТУП.....

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Організація будівництва складних проєктів девелоппменту у встановлений термін на основі потокових моделей з обмеженою пропускною здатністю ..... | 5  |
| 1.1 | Основні положення та постановка оптимізаційної задачі девелоппменту .....  | 5  |
| 1.2 | Алгоритм вирішення оптимізаційної задачі девелоппменту.....  | 15 |
| 1.3 | Розв'язання оптимізаційної задачі девелоппменту.....   | 21 |
| 1.4 | Виробничо-економічний аналіз оптимізаційної задачі та висновки   | 38 |
| 2   | Розробка девелопперського проєкту, практикум.....  | 41 |
| 2.1 | Вихідні дані до розроблення девелопперського проєкту житлового комплексу .....   | 41 |
| 2.2 | Оточення девелопперського проєкту житлового комплексу .....  | 43 |
| 2.3 | Формування організаційної структури девелопперського проєкту...  | 47 |
| 2.4 | Календарне планування девелопперського проєкту житлового комплексу   | 50 |

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

**ПРОЄКТ**

Полтавець

Марина

Олександрівна

57

**ВСТУП**

Методичні вказівки до практичних занять «Девелопмент інвестиційно-будівельної діяльності будівельних організацій» присвячений дослідженню організаційних, управлінських та технологічних парадигм функціонування процесу інвестиційно-будівельної діяльності будівельних організацій.

Методичні вказівки призначені для використання у навчальному процесі під час практичних занять з дисципліни «Девелопмент інвестиційно-будівельної діяльності будівельних організацій».

Метою видання є оволодіння студентами теоретичними та практичними знаннями, основними методами та принципами девелопменту інвестиційно-будівельної діяльності будівельних організацій, пізнання основних положення організації та планування будівельним виробництвом, а також формування у студентів розуміння форм і об'єктивних законів та принципів управління системами, які існують у сфері будівництва, вироблення та прийняття управлінських рішень, а також питання автоматизації задач управління й використання сучасної розрахункової техніки, а також поглиблене вивчення питань техніко-економічного аналізу взаємопов'язаних об'ємно-планувальних, конструктивних та організаційно-технологічних рішень у будівництві.

Реалізація поставленої мети виконується шляхом аналітичних та пояснювальних досліджень, які покликані навчити студентів відстоювати свій погляд з приводу обставин, ситуацій, що потребують розв'язання на основі прийняття організаційних рішень у будівництві; самостійно виявляти, узагальнювати проблемні ситуації у процесі зведення та реконструкції об'єктів; знаходити альтернативні рішення на основі пошуку ефективних варіантів організації будівництва та відновлення будівель; застосовувати на практиці елементи теорії організації будівельного виробництва та управління проектами; розробляти та супроводити технічну документацію по організації та плануванню будівництва; самостійно виявляти, узагальнювати проблемні ситуації, знаходити альтернативні рішення на основі декомпозиції, аналізу, оптимізації і синтезу систем; використовувати математичний апарат для вирішення оптимізаційних задач в будівництві; застосовувати на практиці елементи теорії оптимального управління в повсякденному житті, обґрунтовано обирати оптимальний варіант проектного (об'ємно-планувального, конструктивного чи організаційно-технологічного) рішення з урахуванням конкретних виробничих умов за сукупністю визначених техніко-економічних показників.

# 1. ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВНИЦТВА СКЛАДНИХ ПРОЄКТІВ У ВСТАНОВЛЕНИЙ ТЕРМІН НА ОСНОВІ ПОТОКОВИХ МОДЕЛЕЙ З ОБМЕЖЕНОЮ ПРОПУСКНОЮ ЗДАТНІСТЮ

## 1.1 Основні положення та постановка оптимізаційної задачі девелопменту

**Проект** (від лат. projectus - кинутий вперед, видатний вперед, той що стирчить) - це унікальна діяльність (сукупність завдань або заходів), що має початок і кінець в часі, направлена на досягнення заздалегідь певного результату / мети, створення певного, унікального продукту або послуги, при заданих обмеженнях за ресурсами та термінами, а також вимогами до якості і допустимому рівню ризику.

**Складний проект** – це сукупність організаційно-технологічних документів і відповідних їм дій, спрямованих на досягнення проектного задуму при встановлених ресурсних обмеженнях, що характеризується чітко визначеними цілями, строками та методами організації та розробляється і реалізується з урахуванням доходів від завершення окремих етапів проектів, їх масштабності, різноманітності внутрішніх взаємозв'язків, технічної, технологічної, організаційної варіантності, неповноти початкових даних, значних обсягів інвестицій, тривалого терміну реалізації, високого ступеня невизначеності та ризику, а також інших унікальних умов проектів.

У нашій роботі у розумінні «складний проект» мається на увазі «будівельний проект».

Виконання складного проекту завжди пов'язане із споживанням ресурсів (трудових, матеріальних, енергетичних, фінансових і т.п.). Звідси витікає (формується) **основна мета економічної роботи** на будь-якому підприємстві - нормування і планування цих ресурсів (раціональне їх використання)

## **ПРОЄКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Практичній роботі завжди доводиться стикатися з проблемою обґрунтування термінів будівництва об'єктів в заданий (встановлений) час.

Будь-який проєкт включає впорядковану кінцеву безліч операцій, а режим виконання їх завжди характеризується як тривалістю  $\tau_{ij}$ , так і інтенсивністю виробництва, що пов'язане із залученням трудових ресурсів  $n_{ij}$  в одиницю часу.

**Інтенсивність виробництва** – це плідність, продуктивність виробничої діяльності; вимірюється кількістю продукції, виробленої працівником у сфері матеріального виробництва за одиницю робочого часу (годину, зміну, місяць, рік), або кількістю часу, який витрачений на виробництво одиниці продукції.

Будівельне виробництво характеризується високим рівнем розподілу праці, складністю виконуваних проєктів, великою кількістю порівнюваних альтернативних варіантів. Отже тут формується головне завдання - вибрати з альтернативних варіантів ефективний. В цьому випадку зручно користуватися моделями.

Для проведення подальшої роботи скористаємося такими поняттями як «моделювання» і «модель».

**Модель** - це деякий матеріальний або віртуальний об'єкт чи явище, який заміщає оригінальний об'єкт або явище, зберігаючи тільки деякі важливі його властивості, наприклад, в процесі пізнання (споглядання, аналізу і синтезу) або конструювання. Іншими словами, це аналогічні об'єкти, тобто ті, що достатньою мірою повторюють основні властивості модельованого об'єкту або явища (об'єкту-прототипу).

**Моделювання** - дослідження об'єктів пізнання на їх моделях; побудова і вивчення моделей реально існуючих предметів, процесів або явищ з метою отримання пояснень цих явищ, а також для прогнозу явищ, що цікавлять дослідника.

Виробничий процес можна представити у вигляді віртуальної, описової або графічної моделі.

Вимоги до складання виробничих моделей:

1) подібність об'єкту-прототипу;

## **ПРОЄКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

- 2) простота і наочність сприйняття;
- 3) зручність для проведення аналізу;
- 4) віддзеркалення повного переліку робіт, послідовності їх виконання і взаємозв'язку.

Будь-яку виробничу модель можна зобразити за допомогою лінійних графіків, циклограм і сітьових моделей. Особливу зацікавленість викликає останній спосіб відображення виробничих моделей, бо має ряд переваг в раціональності його використання:

- 1) оптимальне відображення послідовності виконання складного проекту;
- 2) забезпечення керівника і виконавців всією необхідною інформацією для ухвалення управлінських рішень;
- 3) встановлення чіткого взаємозв'язку робіт;
- 4) відображення наочної технологічної послідовності;
- 5) аналіз ходу будівництва у просторі та часі;
- 6) об'єднання в одній моделі всього комплексу робіт;
- 7) надання можливості широко використовувати обчислювальні програмні комплекси для розрахунку.

Графічне відображення будівельно-монтажних робіт у вигляді сітьової моделі наведено на рис. 1.1.

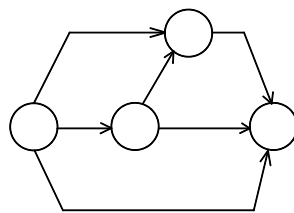


Рисунок 1.1 - Графічне відображення будівельно-монтажних робіт у вигляді сітьової моделі

**Сітьова модель** - це така організаційно-технологічна модель, яка відображає комплекс робіт, операцій і подій, пов'язаних з реалізацією деякого будівельного проекту в технологічній і логічній послідовності і зв'язку. У

основі побудови сітьової моделі полягає теорія графів. **Теорія графів** це розділ дискретної математики, що вивчає властивості графів.

У загальному розумінні **«граф»** - це сукупність об'єктів із зв'язками між ними, об'єкти являють собою вершини (вузли) графа, а зв'язки - дуги (ребра). Для різних сфер застосування види графів можуть розрізнятися спрямованістю, обмеженнями за кількістю зв'язків і додатковими даними про вершини або ребра.

Вузлами графу (кружками) зображені події, тобто моменти початку або закінчення кожної роботи, її стан. Ребрами графу (стрілками - дугами) зображені процеси (операції), вістря стрілки показаний напрям в часі від початку до кінця роботи. Напрямок стрілок в сітьовій моделі визначає зв'язок між подіями в часі. Подія, в яку входить стрілка (наступна подія), не може відбутися без звершення попередньої події, з якого стрілка виходить.

Отже, виходячи з вищесказаного, в реалізації будівельних проєктів перед фахівцями встає питання - вибрати з альтернативних варіантів найбільш ефективний. Цей вибір ми проводимо за показником критерію оптимальності.

**Критерій оптимальності** – це ознака, за якою порівнюються і оцінюються варіанти певних дій для досягнення поставленої мети. Якщо процес вибору рішень, описати функцією, шукані змінні якої є допустимими і такими, що описують рух до мети, то таку функцію називають **цільовою**, а рішення - **оптимальним**. Таким чином, встановити оптимальне рішення означає визначити екстремум функції.

Критеріям оптимальності притаманний ряд важливих характеристик:

- 1) критерій оптимальності повинен вимірювати справжню ефективність системи;
- 2) критерій оптимальності повинен виражатися за кількісними одиницями виміру;
- 3) критерій оптимальності для задачі, яка вирішується, повинен бути один (в різних задачах можуть бути також і часні критерії, але обов'язково підпорядковані загальному критерію ефективності);



4) значення критерію оптимальності повинен визначатися достатньо точно без надмірних витрат часу та додаткових засобів;

5) критерій оптимальності повинен забезпечувати врахування всіх існуючих сторін;

б) критерій оптимальності повинен мати фізичний сенс, який робить його зрозумілим та відчутним, а також полегшує порівняння ідеальної та реальної характеристик.

Щоб встигнути закінчити будівництво об'єкту в заданий термін  $T_{зад} \leq T_n$  слід всі роботи, які входять до складу проекту, виконувати з певною швидкістю, узгодженою з кінцевою метою, заданим терміном введення об'єкту в експлуатацію.

Залучення ресурсів пов'язане з додатковими витратами і збільшенням змінності виробництва. Звідси формується одна з **основних цілей** організації та управління будівельного виробництва - мінімізувати залучення ресурсів з дотриманням термінів реалізації проекту.

Друга назва нашої оптимізаційної задачі за ім'ям вчених – задача Форда-Фалкерсона.

Розглянемо граф  $G(U, A)$ , де  $G$  – позначення графа,  $U$  - множина вузлів (подій) графа,  $A$  - множина операцій (дуг, робіт)  $(i, j) \in A$ .

Кожна робота (операція) будівельного проекту характеризується тривалістю виконання (тривалістю реалізації) -  $t_{ij}$  та інтенсивністю виробництва  $N_{ij}$ , де  $(i, j) \in A$ .

Серед таких умов справедлива залежність:

$$N_{ij} \cdot x_{ij} = Q_{ij}, \quad (1.1)$$

де  $Q_{ij}$  – трудомісткість роботи  $(i, j) \in A$ , яка залежить від обсягу  $(i = 1, 2, \dots, n-1; j = 2, 3, \dots, n)$ ;

$n$  - кількість вузлів (подій) в сітвовій моделі;

$x$  – це пошукова величина оптимальної тривалості  $t_{ij}$  виконання кожної роботи (операції) для того, щоб встигнути завершити будівництво у зазначений термін.

По кожній роботі  $(i, j) \in A$  відома мінімальна інтенсивність -  $N_{ij}^D$ , якій відповідає тривалість  $D_{ij}$  і  $d_{ij}$  - тривалість, що відповідає прискореній (максимальній) концентрації використання ресурсів  $N_{ij}^d$  (максимальна інтенсивність).

Сформулюємо математичну модель задачі.

Дана сітьова модель  $(D_{ij}, T^D)$ , по роботі  $(i, j) \in A$  відомо  $d_{ij}$  – тривалість максимальної концентрації ресурсів, та  $C_{ij}$  - "вартість" скорочення роботи на одиницю часу.

Скорочення тривалості виконання робіт  $(i, j) \in A$  на величину  $\Delta x_{ij} = D_{ij} - x_{ij}$  може бути забезпечено залученням додаткових ресурсів, тобто за рахунок збільшення інтенсивності виробництва і визначається:

$$\Delta N_{ij} = c_{ij} \cdot \Delta x_{ij}. \quad (1.2)$$

Задля досягнення мети потрібно визначити роботи  $(i, j) \in A$ , які необхідно прискорити, а також роботи, для яких необхідно зберегти нормальну тривалість  $D_{ij}$ . Іншими словами, потрібно знайти таке рішення  $(x_{ij}, T_n)$ , яке мінімізує цільову функцію:

$$L(x) = \sum_{(i,j) \in A} \Delta N_{ij} = \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} (D_{ij} - x_{ij}) \rightarrow \min, \quad (1.3)$$

де  $\sum_{(i,j) \in A} \Delta N_{ij}$  - сумарне залучення додаткових ресурсів для скорочення

терміну будівництва.

Множину вузлів (подій) можна визначити як  $U=(1, 2, \dots, n)$ , де вузол 1 ( $n=1$ ) позначає початок реалізації проекту, а вузол  $n$  - закінчення.

Обмеження у вирішенні задачі наступні:

$$T_i - T_j + x_{ij} \leq 0 \text{ для всіх } (i, j) \in A, \quad (1.4)$$

$$-T_1 + T_n \leq T_3 \quad (1.5)$$

**ПРОЕКТ**

Полтавець

Марина

Олександрівна

**ПРОЕКТ**

Полтавець

Марина

Олександрівна

$$d_{ij} \leq x_{ij} \leq D_{ij}, \text{ для всіх } (i, j) \in A, \quad (1.6)$$

**ПРОЄКТ**

Полтавець

Марина

Олександрівна

де  $T_i$  ( $T_j$ ) - ранній термін звершення подій реалізації проекту,  
 $T_3$  – заданий термін на будівництво об'єкту (реалізації проекту).

Умова (1.4) відображає нерозривність мережі та  $T_j = \max(T_i + t_{ij})$ . Умова (1.5) висловлює вимогу не перевищення заданого терміну будівництва, тобто в оптимальному рішенні значення критичного шляху  $T_n \in T_{кр}$  не повинне перевищувати заданого терміну будівництва (реалізації проекту). Обмеження (1.6) визначається технологією і організацією виробництва всіх операцій  $(i, j) \in A$ .

**Наша мета** – визначити невідомі значення тривалості кожної операції  $x_{ij}$ . Для їх визначення ставимо задачу (1.3)  $L(x)$ . Вид цільової функції (1.3) і обмеження мають лінійну залежність, тому сформульована задача є параметричною задачею лінійного програмування.

Для вирішення поставленої задачі потрібно перевірити вирішуваність при встановленому терміні будівництва  $T_{зад}$ . Використаємо для цього наступний прийом. Припустимо, що невідома тривалість дорівнює тривалості з максимальною інтенсивністю виробництва  $x_{ij} = d_{ij}$ , тоді критичний шлях позначимо  $T_{кр}^d$ . Якщо  $T_{зад} \geq T_{кр}^d$ , то задача має рішення, у протилежному випадку рішення немає. Якщо припустити, що  $x_{ij} \leq D_{ij}$ , то критичний шлях визначиться як  $T_{кр}^D$ . Таким чином нам необхідне дотримання наступної умови:

$$T^d \leq T_{зад} \leq T^D \quad (1.7)$$

**ПРОЄКТ**

Полтавець

Марина

Олександрівна

У подальшому рішенні визначаємо для кожного значення  $T_n$  з сегменту  $[T^d \div T^D]$  мінімуму функції:

$$L(x) = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} (D_{ij} - x_{ij}) = \left( \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} D_{ij} - \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \right) \rightarrow \min. \quad (1.8)$$

При поставлених умовах (1.4) ÷ (1.6) задача являє собою параметричну задачу лінійного програмування. Наведена економіко-математична модель

(ЭММ) еквівалентна наведеній нижче задачі лінійного програмування з максимізацією функції мети.

Враховуючи, що в формулі (1.8)

$$\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} D_{ij} \rightarrow const,$$

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

(1.9)

замінімо цільову функцію вихідної задачі на іншу функцію:

$$L(x) = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \rightarrow max, \quad (1.10)$$

яка приймала б максимальне значення та відповідає умовам:

$$T_i - T_j + x_{ij} \leq 0 \text{ для всіх } (i, j) \in A, \quad (1.11)$$

$$-T_1 + T_n \leq T_{зад} \quad (1.12)$$

$$x_{ij} \leq D_{ij} \text{ для всіх } (i, j) \in A, \quad (1.13)$$

$$-x_{ij} \leq -d_{ij} \text{ для всіх } (i, j) \in A, \quad (1.14)$$

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

У постановці (1.10) ÷ (1.14) задача може бути вирішена універсальним симплекс-методом, який використовується для вирішення екстремальних задач лінійного програмування. Такі методи громіздкі і їх застосування доцільно тільки тоді, коли спеціальні методи виявляються недостатніми. Нижче наведемо методику приведення такої задачі до канонічного (стандартного) виду.

У нашому випадку пропонується прогресивний підхід, заснований на теорії двоїстості лінійного програмування в умовах доповнюючої нежорсткості. Ці властивості відображені у теоремах двоїстості.

Перша теорема двоїстості: якщо одна із двоїстих задач має оптимальне рішення, то і інша також має оптимальне рішення, причому оптимальні значення цільових функцій прямої і двоїстої задач співпадають, тобто  $maxF(x) = minF(y)$  або для нашої задачі  $maxL(x) = minZ(f)$ .

Друга теорема двоїстості або теорема доповнюючої нежорсткості: якщо хоч би одне оптимальне рішення одної з двоїстих задач обертає  $i$ -е обмеження цієї задачі в строгу нерівність, то  $i$ -а компонента (тобто  $x_i$  або  $y_i$ ) кожного оптимального рішення другої двоїстої задачі дорівнює нулю.

Якщо ж  $i$ -а компонента хоч би одного оптимального рішення однієї з двоїстих задач позитивна, то кожне оптимальне рішення іншої двоїстої задачі обертає  $i$ -е обмеження в строгу рівність.

У постановці (1.10) ÷ (1.14) задача має вигляд, аналогічний задачі мінімальної вартості проекту, тобто визначення оптимального потоку, а також володіє значною перевагою в обчислюваннях, має економічне і фізичне тлумачення, що дуже важливо в практичному застосуванні.

Підійдемо до вирішення двоїстої задачі. Досліджується задача, для якої у відповідність обмежень (1.11) ÷ (1.14) ставляться невід'ємні змінні  $f_{ij}$ ,  $V$ ,  $\gamma_{ij}$ ,  $\delta_{ij}$ , які називаються двоїстими. Вони наведені (перераховані) в такому ж порядку, в якому вводилися обмеження в модель.

Двоїста задача до (1.10) ÷ (1.14) формулюється наступним чином. Необхідно мінімізувати цільову функцію:

$$L(f) = \left( T \cdot V + \sum_{(i,j) \in A} D_{ij} \cdot \gamma_{ij} - \sum_{(i,j) \in A} d_{ij} \cdot \delta_{ij} \right) \rightarrow \min \quad (1.15)$$

при умовах:

$$f_{ij} + \gamma_{ij} - \delta_{ij} = c_{ij} \quad \text{для } (i, j) \in A, \quad (1.16)$$

$$\sum_j f_{ij} - V = 0 \quad i=1, \quad (1.17)$$

$$\sum_i (f_{ij} - f_{ji}) = 0 \quad \text{для всіх } i = 2, \dots, n-1, \quad (1.18)$$

$$-\sum_i f_{in} + V = 0 \quad i=n, \quad (1.19)$$

$$f_{ij}, \gamma_{ij}, \delta_{ij} \geq 0 \quad \text{для всіх } (i, j) \in A. \quad (1.20)$$

Двоїста задача (1.15) ÷ (1.20) сформульована у відповідності з правилами теорії лінійного програмування. Двоїсті обмеження є рівняннями, оскільки змінні в основній задачі в явному вигляді не обмежені за знаком.

На основі математичної структури двоїсті змінні  $f_{ij}$ , які відповідають  $x_{ij}$  в прямій задачі, розглядаються як потоки в сіті з обмеженою пропускнуою здатністю.

Для оптимального рішення повинні виконуватися наступні результати:

**ПРОЄКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

$$T_i - T_j + x_{ij} < 0, \text{ то } f_{ij} = 0$$

$$T_i - T_j + x_{ij} = 0, \text{ то } f_{ij} > 0$$

$$\text{якщо } x_{ij} = D_{ij}, \text{ то } \gamma_{ij} > 0$$

$$\text{якщо } x_{ij} = d_{ij}, \text{ то } \delta_{ij} > 0$$

$$\text{якщо } x_{ij} < D_{ij}, \text{ то } \gamma_{ij} = 0$$

$$\text{якщо } x_{ij} > d_{ij}, \text{ то } \delta_{ij} = 0$$

(1.21)

**ПРОЄКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Двоїсті змінні  $\gamma_{ij}$ ,  $\delta_{ij}$  не можуть бути одночасно позитивними, так як  $D_{ij} \neq d_{ij}$ . В обмеженні (1.16) значення  $\gamma_{ij}$  и  $\delta_{ij}$  визначаються таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{ij} &= c_{ij} - f_{ij}, \text{ при } \delta_{ij} = 0; \\ \delta_{ij} &= f_{ij} - c_{ij}, \text{ при } \gamma_{ij} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (1.22)$$

Тому  $\gamma_{ij} = \max(0, c_{ij} - f_{ij})$ , при  $\delta_{ij} = 0$ ;  $\delta_{ij} = \max(0, f_{ij} - c_{ij})$ , при  $\gamma_{ij} = 0$ .

При дослідженнях всіх можливих значень  $f_{ij}$ ,  $\gamma_{ij}$ ,  $\delta_{ij}$  можна виділити три випадки:

$$1. \gamma_{ij} > 0; \delta_{ij} = 0; 0 \leq f_{ij} \leq c_{ij}; x_{ij} = D_{ij}$$

$$2. \gamma_{ij} = 0, \delta_{ij} = 0, f_{ij} = c_{ij}, d_{ij} \leq x_{ij} \leq D_{ij}$$

$$3. \gamma_{ij} = 0, \delta_{ij} > 0, f_{ij} > c_{ij}, d_{ij} = x_{ij}$$

(1.23)

**ПРОЄКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

На основі потокового алгоритму послідовно для кожного випадку визначаються  $f_{ij}$  та  $T_i(T_j)$ , які задовольняють умовам оптимальності:

$$1. 0 < f_{ij} < c_{ij} \text{ та } T_i - T_j + D_{ij} = 0; f_{ij} = 0 \text{ та } T_i - T_j + D_{ij} < 0 \text{ при } a'_{ij} = 0 \quad (1.24)$$

$$2. f_{ij} = c_{ij} \text{ та } T_i - T_j + x_{ij} = 0, d_{ij} \leq x_{ij} \leq D_{ij} \text{ при } \bar{x}_{ij} = 0 \quad (1.25)$$

$$3. c_{ij} < f_{ij} < \infty \text{ та } T_i - T_j + d_{ij} = 0 \text{ при } a''_{ij} = 0 \quad (1.26)$$

В умовах (1.24) – (1.26) використані наступні позначення:

**ПРОЄКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

$\alpha'_{ij} = T_i - T_j + D_{ij}$  - резерв критичності;

$\alpha''_{ij} = T_i - T_j + d_{ij}$  - резерв скорочення; (1.27)

$\bar{x}_{ij} = T_i - T_j + x_{ij}$   
 $x_{ij} = \min(D_{ij}, T_j - T_i)$  } - невідомі змінні



Послідовно визначаються  $f_{ij}$  та  $T_i$  ( $T_j$ ), які відповідають умовам оптимальності для значень  $T_n$ , які зменшуються, після чого розраховуємо невідомі змінні.

## 1.2 Алгоритм вирішення оптимізаційної задачі девелопменту

Основна мета організації і управління будівництвом - це мінімізація залучення ресурсів для дотримання термінів реалізації проекту, іншими словами нам потрібно скоротити тривалість проекту і укластися у виділену суму грошей.

Для виконання подальших досліджень, розглянемо наступні позначення основних складових сітьової моделі (рис. 1.2).

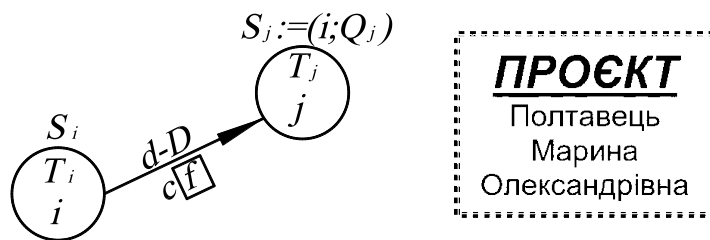


Рисунок 1.2 - Елемент сітьової моделі

$i, j$  – подія (її номер) тобто момент початку чи закінчення кожної роботи (особливість позначення: перша подія – 101, друга подія – 102, третя подія – 103 і т.д.).

$T_i, T_j$  – терміни звершення подій  $i, j$  (час настання події).

$D_{ij}$  - тривалість мінімальної інтенсивності виробництва  $N^D_{ij}$ ;

$d_{ij}$  - тривалість максимальної інтенсивності виробництва  $N^d_{ij}$ ;



$c_{ij}$  - вартість скорочення роботи на одиницю  $T_s$  ;

$f_{ij}$  - потік по дузі (роботі)  $(i;j)$ ;

$S_i; S_j$  – коди подій  $i, j$  відповідно. Позначення коду події розташовується над подією та складається з двох частин:

1) перша частина – номер (код) попередньої події, з боку якого виконувалося кодування  $j$ -ї події:

2) друга частина  $Q_j$  – визначається за спеціальними правилами згідно алгоритму.

Отже, загальний вигляд коду події  $j$  такий:

$$S_j := (i; Q_j) \tag{1.28}$$

Введемо наступні позначення:

$i^*, j^-$  - пряма дуга (пряме кодування) – це робота, початкова подія якої закодована, а кінцева – ні;

$i^-, j^*$  - зворотна дуга (зворотне кодування) – це робота, початкова подія якої не має коду, а кінцева – закодована.

Подальшу роботу з вирішення задачі виконуватимемо за допомогою алгоритму (рис. 3).

Алгоритм починає роботу з максимальної тривалості проекту при  $t_{ij} = D_{ij} \rightarrow T^D$  (див. рис. 1.3 блок №3) та на кожній ітерації оцінюються додаткові витрати, за допомогою яких досягається деяке скорочення критичного шляху  $T_{кр}$  на значення  $\Delta T_i$ .

Алгоритм складається з трьох основних кроків:

1) перший крок – перевірка можливості скорочення заданої тривалості проекту, тобто дотримання вихідної умови  $T^d \leq T_{зад} \leq T^D$  ;

2) другий крок – здійснення процедури кодування подій для модифікації в сіті потоків, які відповідають двоїстій задачі;

3) третій крок – скорочення тривалості проекту, якщо на другому кроці алгоритму досягається непрорив сіті, тобто кінцева  $n$ -а подія коду не отримала.



В якості вихідних даних приймаємо  $T_1 = 0, T_j = \max(T_j + D_{ij})$  (див. рис. 1.3 блок №3) всі дугові потоки  $f_{ij}$  можуть бути прийняті нульовими або дорівнюватимуть якому-небудь іншому значенню. Але тут важливе забезпечення допустимості початкового варіанту, а воно буде тоді, коли задовольниться умова збереження потоку в сіті. Нульовий вектор  $f_{ij}$ , автоматично забезпечує допустимість. Цьому правилу ми слідуватимемо при вирішенні задачі.

У нашій задачі вузол №1 (початкова подія) має постійну позначку  $(0; \infty)$ .

Розглянемо процедуру кодування подій (див. рис. 1.3 блоки №4, 6). Розділимо її на дві частини:

- 1) пряме кодування - збільшення потоку уздовж прямих дуг (робіт);
- 2) зворотне кодування - тобто зменшення потоку уздовж зворотних дуг.

Правила кодування прямих дуг  $(i^*, j^-)$ :

1) розглянемо наступну подію  $j$  у складі роботи  $(i, j)$ , яка не має коду (тобто поки що незакодована), при цьому попередня подія  $i$  має код (закодована подія). Для роботи  $(i, j)$  виконуються умови  $a'_{ij} = 0$  та  $f_{ij} < c_{ij}$ . Тоді наступна подія  $j$  отримує код  $(+i, Q_j)$ , де друга частина коду визначається за формулою:

$$Q_j = \min(Q_i, c_{ij} - f_{ij}). \quad (1.29)$$

Потік  $f_{ij}$  можна збільшити на мінімальне значення, яке знаходиться між величиною потоку в  $i$ -й події і величиною, необхідної для досягнення величини  $c_{ij}$ , яка обмежує умови потоку;

2) розглянемо наступну подію  $j$  у складі роботи  $(i, j)$ , яка не має коду (тобто поки що незакодована), при цьому попередня подія  $i$  має код (закодована подія). Для роботи  $(i, j)$  виконується умова  $a''_{ij} = 0$ . Тоді наступна подія  $j$  отримує код  $(+i, Q_i)$ , тобто друга частина коду події  $j$  дорівнює другій частині коду події  $i$ :

$$Q_i = Q_j;$$

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

$$(1.30)$$

3) розглянемо наступну подію  $j$  у складі роботи  $(i, j)$ , яка не має коду (тобто поки що незакодована), при цьому попередня подія  $i$  має код (закодована подія). Для роботи  $(i, j)$  умови з першого та другого правил не виконуються, тоді подія  $j$  коду не отримує, тобто залишається незакодованою.

У випадку неможливості кодування події  $j$  за трьома вищевказаними правилами можна використати правила зворотних дуг.

Правила кодування зворотних дуг ( $i^-, j^*$ ):

1) розглянемо попередню подію  $i$  у складі роботи  $(i, j)$ , яка не має коду (тобто поки що незакодована), при цьому наступна подія  $j$  має код (закодована подія). Якщо для роботи  $(i, j)$  виконуються умови  $a'_{ij} = 0$  та  $f_{ij} > 0$ , тоді попередня подія  $i$  отримує код  $(-j, Q_i)$ , де друга частина коду визначається за формулою:

$$Q_i = \min(Q_j, f_{ij}). \quad (1.31)$$

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

З  $i$ -ї події до  $j$ -ї можна направити зустрічний потік, розмір якого обмежується потоком, який вже є в  $j$ . Призначення зустрічного потоку полягає в зменшенні розміру потоку  $f_{ij}$ .

2) розглянемо попередню подію  $i$  у складі роботи  $(i, j)$ , яка не має коду (тобто поки що незакодована), при цьому наступна подія  $j$  має код (закодована подія). Якщо для роботи  $(i, j)$  виконуються умови  $a''_{ij} = 0$  та  $f_{ij} > c_{ij}$ , тоді попередня подія  $i$  отримує код  $(-j, Q_i)$ , де друга частина коду визначається за формулою:

$$Q_i = \min(Q_j, f_{ij} - c_{ij}). \quad (1.32)$$

3) розглянемо попередню подію  $i$  у складі роботи  $(i, j)$ , яка не має коду (тобто поки що незакодована), при цьому наступна подія  $j$  має код (закодована подія). Для роботи  $(i, j)$  умови з першого та другого правил не виконуються, тоді подія  $i$  коду не отримує, тобто залишається незакодованою.

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

В результаті застосування процедури кодування кінцева  $n$ -а подія (остання подія в сітвовій моделі) може отримати позначку «прорив сіті» або залишитися без неї «непрорив сіті».

У разі «**прориву сіті**» необхідно змінити потік уздовж критичного шляху на величину другої частини коду останньої події (1.33) (див. рис. 1.3, блок №5) у напрямі першої частини коду. Після досягнення початкової події починаємо (повторюємо) процедуру кодування.

$$f_{ij}^{нов} = f_{ij}^{cm} \pm Q_n \quad (1.33)$$

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

У разі «**непрориву сіті**» (коли ми не можемо закодувати кінцеву подію) застосовуємо процедуру зміни термінів звершення подій.

Визначаємо дві непересічні безлічі подій, які утворюють дуги. Можливі наступні стани дуг:  $(i^*, j^-)$ ;  $(i^-, j^*)$ ;  $(i^-, j^-)$ ;  $(i^*, j^*)$ . Розглядаємо тільки ті роботи, які мають закодовану та незакодовану події, вони утворюють як мовилося вище такі види дуг:

$i^*, j^-$  - пряма дуга (пряме кодування) - це робота, початкова подія якої закодована, а кінцева немає коду.

$i^-, j^*$  - зворотна дуга (зворотне кодування) - це робота, початкова подія якої не має код, а кінцева має.

Для кожної такої дуги визначаємо: резерви критичності  $a'_{ij}$ ; резерви скорочення  $a''_{ij}$ ; значення  $\Delta_1$  і  $\Delta_2$

$$\Delta_1 = \min | -a' |, \quad (1.34)$$

$$\Delta_2 = \min | -a'' |;$$

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

- величину скорочення тривалості критичного шляху (1.35):

$$\Delta T_n = \min(\Delta_1, \Delta_2), \quad (1.35)$$

де  $n$  - це номер ітерації.

- значення нових термінів звершень для подій, які не отримали коду за формулою:

$$T^{нов} = T^{стар} - \Delta T_n \quad (1.36)$$

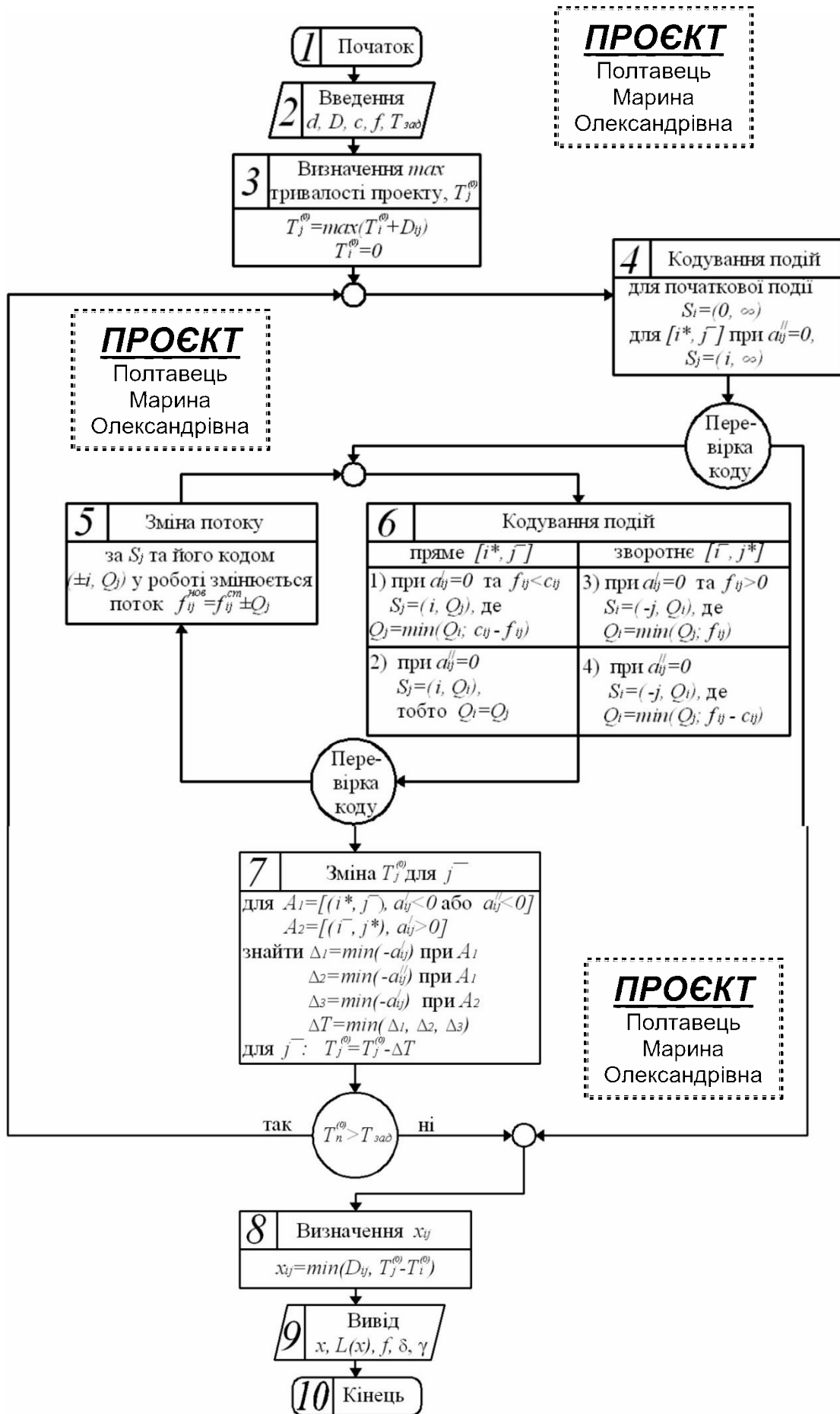


Рисунок 1.3 - Алгоритм вирішення задач

### 1.3 Розв'язання оптимізаційної задачі розвитку

Завдання до розв'язання. Прийняти управлінське рішення з реалізації будівельного проекту в термін, встановлений інвестором. Заданий термін будівництва  $T_{зад} = 18$  міс. Вихідні дані до вирішення задачі зазначені на рис. 1.4.

Вирішення задачі виконуємо за допомогою поетапних ітераційних розрахунків.

#### Ітерація №1.

Розглянемо сітьову модель (рис. 1.4). Згідно встановлених позначень для кожної роботи та події ми маємо ряд показників (рис. 1.5).

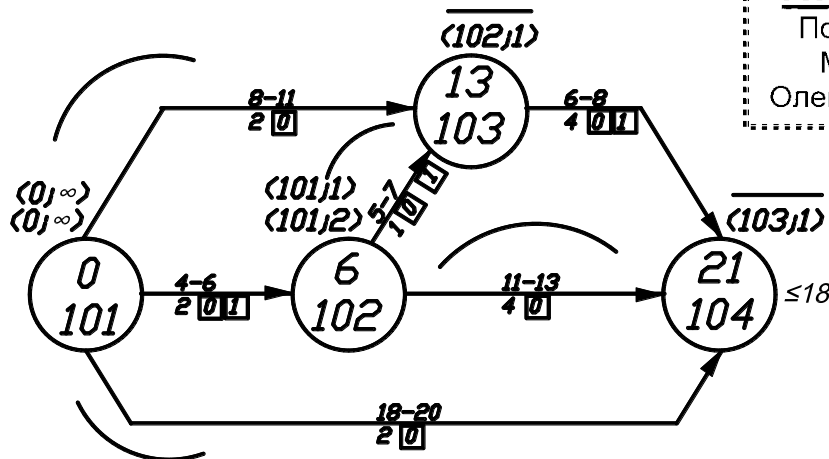


Рисунок 1.4 - Сітьова модель (ітерація №1)

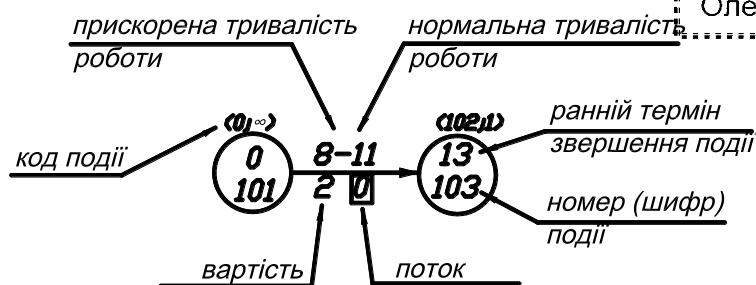


Рисунок 1.5 - Пояснення показників у сітьовій моделі

Початкова подія в кожній ітерації має постійний код  $S_i = (0; \infty) \rightarrow S_{101} = (0; \infty)$ .

Розглянемо роботу 101-102. Використовуємо процедуру прямого кодування  $(i^*, j^-)$ . Перевіряємо умови прямого кодування (рис. 1.3, блок № 6). Перевірка умов здійснюється за двома варіантами.

Варіант умов - 1:

Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ , де  $a'_{ij}$  - резерв критичності  $a'_{ij} = T_i + D_{ij} - T_j$ .

$$a'_{101-102} = T_{101} + D_{101-102} - T_{102} = 0 + 6 - 6 = 0 - \text{умова виконується.}$$

Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ :  $f_{ij} = f_{101-102} = 0$ ,  $c_{ij} = c_{101-102} = 2$ ,  $0 < 2$  - умова виконується.

Згідно алгоритму, розглядаємо наступний варіант умов - 2.

Перевіряємо умову:  $a''_{ij} = 0$ , де  $a''_{ij}$  - резерв скорочення,  $a''_{ij} = T_i + d_{ij} - T_j$ .

$$a''_{101-102} = T_{101} + d_{101-102} - T_{102} = 0 + 4 - 6 = -2 \neq 0.$$

У подібних випадках варіант 2 можна не розглядати, оскільки за першим варіантом всі умови виконані.

Визначаємо другу частину коду події 102 за формулою згідно алгоритму:

$$Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij}). Q_{102} = \min(Q_{101}; c_{101-102} - f_{101-102}) = \min(\infty; 2 - 0) = 2$$

Подія 102 отримала код (101; 2). «101» - виконувалось із події 101; «2» - розраховано.

Далі послідовно розглядаємо всі роботи сітьової моделі.

Розглянемо роботу 101-103. Пряме кодування  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов - 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ :

$$a'_{101-103} = T_{101} + D_{101-103} - T_{103} = 0 + 11 - 13 = -2 \neq 0. \text{ Звідси бачимо, що умова не виконана.}$$

Перевіряти умову  $f_{ij} < c_{ij}$  не потрібно внаслідок невиконання  $a'_{ij} = 0$ , тому переходимо до варіанту умов 2.

Варіант умов - 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$  -

$$a''_{101-103} = T_{101} + d_{101-103} - T_{103} = 0 + 8 - 13 = -5 \neq 0. \text{ Умова не виконана.}$$

Звідси бачимо, що подію 103 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 101-104.

Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{101-104} = T_{101} + D_{101-104} - T_{104} = 0 + 20 - 21 = -1 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Варіант умов - 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$$a''_{101-104} = T_{101} + d_{101-104} - T_{104} = 0 + 18 - 21 = -3 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Звідси бачимо, що подію 104 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 102-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1.

Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .  $a'_{102-103} = T_{102} + D_{102-103} - T_{103} = 6 + 7 - 13 = 0$  – умова виконана.

Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{102-103} = 0$ ,  $c_{ij} = c_{102-103} = 1$ ,  $0 < 1$  – умова виконана.

Визначаємо другу частину коду події 103 -  $Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij})$ ,

$$Q_{103} = \min(Q_{102}; c_{102-103} - f_{102-103}) = \min(2; 1 - 0) = 1.$$

Подія 103 отримала код (102; 1). «102» - тому, що кодування здійснювалося із події 102, «1» - визначили за алгоритмом.

Розглянемо роботу 102-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{102-104} = T_{102} + D_{102-104} - T_{104} = 6 + 13 - 21 = -2 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Перевіряємо умову.  $f_{ij} = f_{102-104} = 0$ ,  $c_{ij} = c_{102-104} = 4$ ,  $0 < 4$  – умова виконана, але це вже не має значення для нас, бо потрібно повноцінне дотримання умов.

Варіант умов – 2.

Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .  $a''_{102-104} = T_{102} + d_{102-104} - T_{104} = 6 + 11 - 21 = -4 \neq 0$  – умова не виконується. Отже, подію 104 неможливо закодувати із події 102.

Розглянемо роботу 103-104. Пряме кодування  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{103-104} = T_{103} + D_{103-104} - T_{104} = 13 + 8 - 21 = 0 - \text{умова виконана. Перевіряємо умову}$$



$f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{102-103} = 0$ ,  $c_{ij} = c_{102-103} = 4$ ,  $0 < 4$  – умова виконана. Знаходимо другу частину коду події 104:

$$Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij}), \quad Q_{104} = \min(Q_{103}; c_{103-104} - f_{103-104}) = \min(1; 4 - 0) = 1. \quad \text{Подія } 104$$

отримала код (103; 1). «103» - тому, що кодування виконувалося із події 103, «1» - розрахували.

Всі події отримали свої коди. Відбувся **прорив потоку** (прорив сіті). Це означає, що в сітьовій моделі необхідно змінити потік  $f$  на величину другої частини коду події 104, яка дорівнює ( $j_{104}=1$ .) Отримали прорив потоку по шляху (101-102) - (102-103) - (103-104).

(101-102) - (102-103) - (103-104) - це критичний шлях (аргументальний шлях) - повний шлях найбільшої тривалості. За вказаними роботами змінюємо потік  $f$ , збільшуємо його на 1 (дописуємо отримані значення потоків в квадратах по цьому шляху):  $f_{ij} = f_{ij} + Q_j$

$$f_{104-103} = f_{104-103} + Q_{104} = 0 + 1 = 1$$

$$f_{103-102} = f_{103-102} + Q_{104} = 0 + 1 = 1.$$

$$f_{102-101} = f_{102-101} + Q_{104} = 0 + 1 = 1$$



Починаємо переглядати (кодувати) сітьову модель по другому разу.

Розглянемо роботу 101-102. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .  $a'_{101-102} = T_{101} + D_{101-102} - T_{102} = 0 + 6 - 6 = 0$  – умова виконується. Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{101-102} = 1$ ,  $c_{ij} = c_{101-102} = 2$ ,  $1 < 2$  – умова виконується. Знаходимо другу частину коду події 102 -  $Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij})$ ,  $Q_{102} = \min(Q_{101}; c_{101-102} - f_{102}) = \min(\infty; 2 - 1) = 1$ .

Подія 102 отримала код (101; 1). «101» -тому що кодували з події 101, «1» - розрахували за алгоритмом.

Розглянемо роботу 101-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .  $a'_{101-103} = T_{101} + D_{101-103} - T_{103} = 0 + 11 - 13 = -2 \neq 0$  - умова не виконана.

Варіант умов – 2.





Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .  $a''_{101-103} = T_{101} + d_{101-103} - T_{103} = 0 + 8 - 13 = -5 \neq 0$  - умова не виконана.

Подію 103 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 101-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.



Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{101-104} = T_{101} + D_{101-104} - T_{104} = 0 + 20 - 21 = -1 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$$a''_{101-104} = T_{101} + d_{101-104} - T_{104} = 0 + 18 - 21 = -3 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Подію 104 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 102-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .  $a'_{102-103} = T_{102} + D_{102-103} - T_{103} = 6 + 7 - 13 = 0$  – умова виконана. Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{102-103} = 1$ ,  $c_{ij} = c_{102-103} = 1$ ,  $1 = 1$  – умова не виконана.

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$a''_{102-103} = T_{102} + d_{102-103} - T_{103} = 6 + 5 - 13 = -2 \neq 0$ . Подію 103 неможливо закодувати із події 102.

Розглянемо роботу 102-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{102-104} = T_{102} + D_{102-104} - T_{104} = 6 + 13 - 21 = -2 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$a''_{102-104} = T_{102} + d_{102-104} - T_{104} = 6 + 11 - 21 = -4 \neq 0$  – умова не виконана. Подію 104 неможливо закодувати із події 102.

Виходячи з того, що всі можливі шляхи до закодування останньої події заборонені (жодна умова не виконується) настав випадок «непрориву» сіті.

Визначаємо дві безлічі подій (які мають код і не мають коду), вони породжують чотири можливих комбінацій коду (дуги або роботи)  $(i^*, j^*), (i^*, j^-), (i^-, j^*), (i^-, j^-)$ . Виділимо тільки ті роботи, які мають одну закодовану, та

одну незакодовану подію: (101-103), (101-104), (102-103), (102-104) - прямі дуги  $(i^*, j^-)$ . Для кожної з цих робіт визначимо необхідні характеристики (табл. 1.1).

**ПРОЄКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Таблиця 1.1.

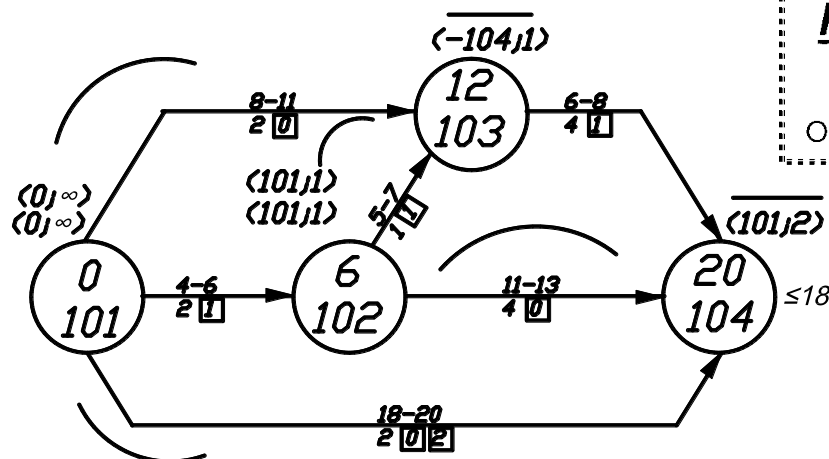
| Дуга    | Резерв критичності                                      | Резерв скорочення                           |
|---------|---|---|
|         | $a'$  | $a''$                                       |
| 101-103 | $0+11-13=-2$  | $0+8-13=-5$                                 |
| 101-104 | $0+20-21=-1$  | $0+18-21=-3$                                |
| 102-103 | $6+7-13=0$  | $6+5-13=-2$                                 |
| 102-104 | $6+13-21=-2$  | $6+11-21=-4$                                |
|         | $\Delta_1 = \min -a'  = \min(1;2) = 1$                  | $\Delta_2 = \min -a''  = \min(2;3;4;5) = 2$ |
|         | $\Delta T_1 = \min(\Delta_1, \Delta_2) = \min(1;2) = 1$ |   |

$\Delta T_1$  - це мінімальне значення скорочення критичного шляху, яке приводить до діалектичної єдності вузлових чисел  $T_i$  та дугових потоків  $f_{ij}$ , тобто унаслідок визначення  $\Delta T$  змінні прямої і двоїстої задач приводяться у відповідність одна з одною, при цьому виникає можливість подальшого скорочення  $T_n$  до  $T_s$ , тобто  $T_{104} \leq T_s$ . Для подій, які не отримали коду (події 104 та 103 не отримали коду), терміни здійснення міняються на  $\Delta T_1 = 1 =$

$$T_{104} = 21 - 1 = 20$$

$$T_{103} = 13 - 1 = 12$$

### Ітерація №2.



**ПРОЄКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Рис. 1.6. Сітьова модель (ітерація №2)

Розглянемо роботу 101-102. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .  $a'_{101-102} = T_{101} + D_{101-102} - T_{102} = 0 + 6 - 6 = 0$

– умова виконана. Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{101-102} = 1$ ,  $c_{ij} = c_{101-102} = 2$ ,  $1 < 2$  – умова виконана.

Знаходимо другу частину коду події 102 за формулою із алгоритму

$$Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij}), \quad Q_{102} = \min(Q_{101}; c_{101-102} - f_{101-102}) = \min(\infty; 2 - 1) = 1.$$

Отже, подія 102 отримала код (101; 1). «101» - тому, що кодування здійснювалося із події 101. «1» - розрахували за алгоритмом.

Розглянемо роботу 101-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{101-103} = T_{101} + D_{101-103} - T_{103} = 0 + 11 - 12 = -1 \neq 0 - \text{умова не виконується.}$$

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$$a''_{101-103} = T_{101} + d_{101-103} - T_{103} = 0 + 8 - 12 = -4 \neq 0 - \text{умова не виконується.}$$

Отже, подію 103 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 101-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{101-104} = T_{101} + D_{101-104} - T_{104} = 0 + 20 - 20 = 0 - \text{умова виконується. Перевіряємо умову}$$

$$f_{ij} < c_{ij}, \quad f_{ij} = f_{101-104} = 0, \quad c_{ij} = c_{101-104} = 2, \quad 0 < 2 - \text{умова виконується.}$$

Знаходимо другу частину коду події 104 за формулою  $Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij})$ ,

$$Q_{102} = \min(Q_{101}; c_{101-104} - f_{101-104}) = \min(\infty; 2 - 0) = 2.$$

Отже, подія 104 отримала код (101; 2). «101» - тому, що кодування виконувалося із події 101. «1» - розрахували за алгоритмом.

Розглянемо роботу 102-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{102-103} = T_{102} + D_{102-103} - T_{103} = 6 + 7 - 12 = 1 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

**ПРОЄКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .  
 $a''_{102-103} = T_{102} + d_{102-103} - T_{103} = 6 + 5 - 12 = -1 \neq 0$  – умова не виконується. Отже, подію 103 неможливо закодувати із події 102.

Розглянемо роботу 103-104. Визначимо вид кодування. Попередня подія 103 поки-що незакодована  $i^-$ , наступна подія 104 вже має свій код  $j^*$  (вона була закодована із події 101, див. вище). Отже, у цьому випадку ми маємо зворотне кодування.

Зворотне кодування  $[i^-, j^*]$  - зворотна дуга (див. рис. 1.3 блок. №1).

Варіант умов – 3. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$a'_{103-104} = T_{103} + D_{103-104} - T_{104} = 12 + 8 - 20 = 0$  – умова виконується.

Перевіряємо умову  $f_{ij} > 0$ ,  $f_{ij} = f_{103-104} = 1, 1 > 0$  – умова виконується.

Варіант умов 4 не перевіряємо, бо виконаний весь попередній варіант 3.

Отже, код попередньої події 103 визначається згідно алгоритму (рис. 1.3) наступним чином  $S_i = (-j; Q_i)$  або  $S_{103} = (-104; Q_{103})$ , знак «-» вказує на зворотній вид кодування.

Знаходимо другу частину коду події 103 -  $Q_i = \min(Q_j; f_{ij})$ ,  
 $Q_{103} = \min(Q_{104}; f_{103-104}) = \min(2; 1) = 1$ . Отже подія 103 отримала код (-104; 1).  
 «-104» - тому, що кодування виконувалося із події 104 (зворотно), «1» - розраховали.

Всі події отримали код, тому ми маємо «прорив» сіті. Це означає, що в сітьовій моделі необхідно змінити потік  $f$  на величину другої частини коду події 104, рівний 2 ( $j_{104}=2$ ). Отримали прорив потоку за критичнім шляхом (101-104).

Змінюємо потік  $f$  за вказаними роботами:

$$f^{нов}_{ij} = f^{см}_{ij} + Q_j \rightarrow f_{101-104} = f_{101-104} + Q_{104} = 0 + 2 = 2.$$

Починаємо переглядати (кодувати) сітьову модель по другому разу.

Розглянемо роботу 101-102. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

**ПРОЕКТ**  
 Полтавець  
 Марина  
 Олександрівна

**ПРОЕКТ**  
 Полтавець  
 Марина  
 Олександрівна

$$a'_{101-102} = T_{101} + D_{101-102} - T_{102} = 0 + 6 - 6 = 0 - \text{умова виконана.}$$

Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{101-102} = 1$ ,  $c_{ij} = c_{101-102} = 2$ ,  $1 < 2$  – умова виконана.

Знаходимо другу частину коду події 102 по формулі  $Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij})$ ,

$$Q_{102} = \min(Q_{101}; c_{101-102} - f_{101-102}) = \min(\infty; 2 - 1) = 1$$

Отже, подія 102 отримала код (101; 1).

**ПРОЄКТ**

Полтавець

Марина

Олександрівна

Розглянемо роботу 101-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{101-103} = T_{101} + D_{101-103} - T_{103} = 0 + 11 - 12 = -1 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$$a''_{101-103} = T_{101} + d_{101-103} - T_{103} = 0 + 8 - 12 = -4 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Отже, подію 103 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 101-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{101-104} = T_{101} + D_{101-104} - T_{104} = 0 + 20 - 20 = 0 - \text{умова виконана. Перевіряємо умову}$$

$$f_{ij} < c_{ij}. f_{ij} = f_{101-104} = 2, c_{ij} = c_{101-104} = 2, 2 = 2 - \text{умова не виконана.}$$

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$$a''_{101-104} = T_{101} + d_{101-104} - T_{104} = 0 + 18 - 20 = -2 \neq 0 - \text{умова не виконана. Отже,}$$

подію 104 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 102-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{102-103} = T_{102} + D_{102-103} - T_{103} = 6 + 7 - 12 = 1 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$$a''_{102-103} = T_{102} + d_{102-103} - T_{103} = 6 + 5 - 12 = -1 \neq 0 - \text{умова не виконана. Отже, подію}$$

103 неможливо закодувати із події 102.

Розглянемо роботу 102-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$$a'_{102-104} = T_{102} + D_{102-104} - T_{104} = 6 + 13 - 20 = -1 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$$a''_{102-104} = T_{102} + d_{102-104} - T_{104} = 6 + 11 - 20 = -3 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Отже, подію 104 неможливо закодувати із події 102.

Виходячи з того, що всі можливі шляхи до закодування останньої події заборонені (жодна умова не виконується) наступив випадок «непрориву» сіті.

Визначаємо дві безлічі подій (які мають код і не мають коду), вони породжують чотири можливих комбінацій коду (дуги або роботи)  $(i^*, j^*), (i^*, j^-), (i^-, j^*), (i^-, j^-)$ . Виділимо тільки ті роботи, які мають одну закодовану, та одну незакодовану подію: (101-103), (101-104), (102-103), (102-104) - прямі дуги  $(i^*, j^-)$ . Для кожної з цих робіт визначимо необхідні характеристики (табл. 1.2).

$\Delta T_2$  - це мінімальна величина скорочення критичного шляху, яка приводить до діалектичної єдності вузлових чисел  $T_i$  та дугових потоків  $f_{ij}$ , тобто унаслідок визначення  $\Delta T$  змінні прямої і двоїстої задач приводяться у відповідність одна з одною, при цьому виникає можливість подальшого скорочення  $T_n$  до  $T_s$ , тобто  $T_{104} \leq T_s$ . Для подій, які не отримали коду (події 104 та 103 не отримали коду), терміни здійснення міняються на  $\Delta T_2 = 1 =$

$$T_{104} = 20 - 1 = 19$$

$$T_{103} = 12 - 1 = 11$$

Таблиця 1.2.

| Дуги    | Резерв критичності                                      | Резерв скорочення                           |
|---------|---|---|
|         | $a'$  | $a''$                                       |
| 101-103 | $0+11-12=-1$  | $0+8-12=-4$                                 |
| 101-104 | $0+20-20=0$   | $0+18-20=-2$                                |
| 102-103 | $6+7-12=1$  | $6+5-12=-1$                                 |
| 102-104 | $6+13-20=-1$  | $6+11-20=-3$                                |
|         | $\Delta_1 = \min -a'  = \min(1) = 1$                    | $\Delta_2 = \min -a''  = \min(1;2;3;4) = 1$ |
|         | $\Delta T_2 = \min(\Delta_1, \Delta_2) = \min(1;1) = 1$ |   |

Ітерація №3

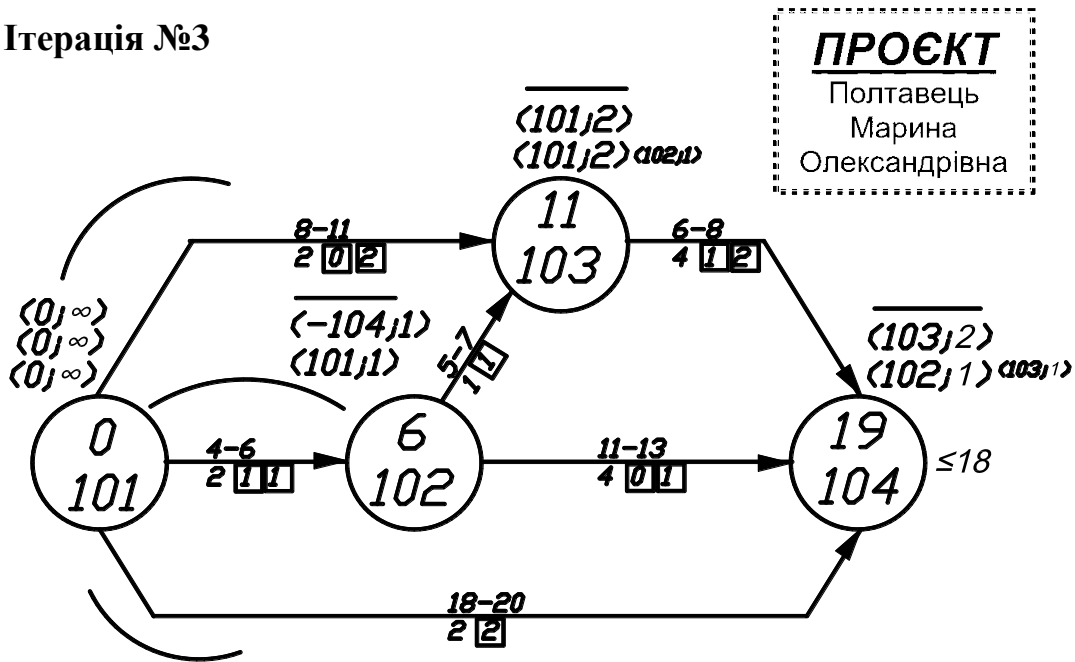


Рисунок 1.7 - Сітьова модель (ітерація №3)

Розглянемо роботу **101-102**. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ .

$a'_{101-102} = T_{101} + D_{101-102} - T_{102} = 0 + 6 - 6 = 0$  – умова виконується. Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{101-102} = 1$ ,  $c_{ij} = c_{101-102} = 2$ ,  $1 < 2$  – умова виконується.

Знаходимо другу частину коду події 102 по формулі  $Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij})$ ,  
 $Q_{102} = \min(Q_{101}; c_{101-102} - f_{101-102}) = \min(\infty; 2 - 1) = 1$

Отже подія 102 отримала (101; 1).

Розглянемо роботу **101-103**. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ ,

$a'_{101-103} = T_{101} + D_{101-103} - T_{103} = 0 + 11 - 11 = 0$  – умова виконана. Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{101-103} = 0$ ,  $c_{ij} = c_{101-103} = 2$ ,  $0 < 2$  – умова виконується.

Знаходимо другу частину коду події 103 по формулі  $Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij})$ ,  
 $Q_{103} = \min(Q_{101}; c_{101-103} - f_{101-103}) = \min(\infty; 2 - 0) = 2$ .

Подія 103 отримала код (101; 2).

**ПРОЄКТ**  
 Полтавець  
 Марина  
 Олександрівна

**ПРОЄКТ**  
 Полтавець  
 Марина  
 Олександрівна

Зараз розглянемо випадок, коли подію можна закодувати з двох або більше попередніх подій. Наприклад подія 103 кодується не тільки із 101, а також із 102.

Розглянемо роботу 102-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ ,  
 $a'_{102-103} = T_{102} + D_{102-103} - T_{103} = 6 + 7 - 11 = 2 \neq 0$  – умова не виконується.

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ ,  
 $a''_{102-103} = T_{102} + d_{102-103} - T_{103} = 6 + 5 - 11 = 0$  – умова виконується.

Знаходимо другу частину коду події 103 по формулі  $S_j = (i; Q_i)$ ,  
 $Q_{103} = (102; Q_{102}) = (102; 1)$ .

Подія 103 також може отримати ще один код (102; 1). «102» - тому, що кодування здійснювалося із події 102. «1» - просто перенесли другу частину коду попередньої події (згідно алгоритму).

В цьому випадку не має значення який код ми залишимо - результат буде однаковим.

Отже, для події 103 залишаємо код (101;2), тобто той код, який отримали спочатку, при розгляді роботи 101-103. У подальшій роботі, при виявленні можливості кодування з двох або більше боків задля зменшення помилковості залишайте той код, який був отриманий спочатку.

Розглянемо роботу 101-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ ,

$a'_{101-104} = T_{101} + D_{101-104} - T_{104} = 0 + 20 - 19 = 1 \neq 0$  - умова не виконується.

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ ,

$a''_{101-104} = T_{101} + d_{101-104} - T_{104} = 0 + 18 - 19 = -1 \neq 0$  - умова не виконується. Отже, подію 104 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 102-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ ,

$a'_{102-104} = T_{102} + D_{102-104} - T_{104} = 6 + 13 - 19 = 0$  – умова виконується.



Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{102-104} = 0$ ,  $c_{ij} = c_{102-104} = 4$ ,  $0 < 4$  – умова виконується.

Знаходимо другу частину

$$Q_{104} = \min(Q_{102}; c_{102-104} - f_{102-104}) = \min(1; 4 - 0) = 1$$

Подія 104 отримала код (102; 1).



Бачимо, що подія 104 також може бути закодована із події 103. Розглянемо з навчальною метою роботу 103-104.

Розглянемо роботу 103-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$

$$a'_{103-104} = T_{103} + D_{103-104} - T_{104} = 11 + 8 - 19 = 0 - \text{умова виконується}$$

Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,

$$f_{ij} = f_{103-104} = 1, c_{ij} = c_{103-104} = 4, 1 < 4 - \text{умова виконується.}$$



Друга частина коду  $Q_{104} = \min(Q_{103}; c_{103-104} - f_{103-104}) = \min(1; 4 - 1) = 1$

Подія 104 також може отримати код (103;1).

Для події 104, як мовилося вище, залишаємо вперше отриманий код (102;1), який визначили при розгляді роботи 102-104.

Всі події отримали код, тому ми маємо «прорив» сіті. Це означає, що в сітьовій моделі необхідно змінити потік  $f$  на величину другої частини коду події 104, рівний 1 ( $j_{104}=1$ ). Отримали прорив потоку за критичнім шляхом (101-102) - (102-104). Змінюємо потік  $f$  за вказаними роботами:

$$f_{ij}^{nos} = f_{ij}^{cm} + Q_j = \begin{matrix} f_{101-102} = f_{101-102} + Q_{104} = 1 + 1 = 2 \\ f_{102-104} = f_{102-104} + Q_{104} = 0 + 1 = 1 \end{matrix}$$

Починаємо переглядати (кодувати) сітьову модель по другому разу.

Розглянемо роботу 101-102. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$

$$a'_{101-102} = T_{101} + D_{101-102} - T_{102} = 0 + 6 - 6 = 0 - \text{умова виконується.}$$

Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{101-102} = 2$ ,  $c_{ij} = c_{101-102} = 2$ ,  $2=2$  – умова не виконується.

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ ,

$$a''_{101-102} = T_{101} + d_{101-102} - T_{102} = 0 + 4 - 6 = -2 \neq 0 - \text{умова не виконується.}$$

Отже, подію 102 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 101-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ ,

$$a'_{101-103} = T_{101} + D_{101-103} - T_{103} = 0 + 11 - 11 = 0 - \text{умова виконана. Перевіряємо умову}$$

$$f_{ij} < c_{ij}, f_{ij} = f_{101-103} = 0, c_{ij} = c_{101-103} = 2, 0 < 2 - \text{умова виконується.}$$

Знаходимо другу частину коду події 102 по формулі  $Q_j = \min(Q_i; c_{ij} - f_{ij})$ ,

$Q_{103} = \min(Q_{101}; c_{101-103} - f_{101-103}) = \min(\infty; 2 - 0) = 2$ . Подія 103 отримала код (101; 2).

Розглянемо роботу 101-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$

$$a'_{101-104} = T_{101} + D_{101-104} - T_{104} = 0 + 20 - 19 = 1 \neq 0 - \text{умова не виконується.}$$

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ ,

$$a''_{101-104} = T_{101} + d_{101-104} - T_{104} = 0 + 18 - 19 = -1 \neq 0 - \text{умова не виконана.}$$

Отже, подію 104 неможливо закодувати із події 101.

Розглянемо роботу 103-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$

$$a'_{103-104} = T_{103} + D_{103-104} - T_{104} = 11 + 8 - 19 = 0 - \text{умова виконується.}$$

Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{103-104} = 1$ ,  $c_{ij} = c_{103-104} = 4$ ,  $1 < 4$  – умова виконана.

$$Q_{104} = \min(Q_{103}; c_{103-104} - f_{103-104}) = \min(2; 4 - 1) = 2$$

Подія 104 отримала код (103; 2).

Розглянемо роботу 102-103. Зворотне кодування -  $[i^-, j^*]$  – зворотна дуга.

Варіант умов – 3. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ ,

$$a'_{102-103} = T_{102} + D_{102-103} - T_{103} = 6 + 7 - 11 = 2 \neq 0 - \text{умова не виконується.}$$

Варіант умов – 4. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ ,

$$a''_{102-103} = T_{102} + d_{102-103} - T_{103} = 6 + 5 - 11 = 0 - \text{умова виконується.}$$

Перевіряємо умову  $f_{ij} > c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{102-103} = 1$ ,  $c_{ij} = c_{102-103} = 1$ ,  $1=1$  – умова не виконується.

Отже, подію 103 неможливо закодувати із події 102.

Розглянемо роботу 102-104. Зворотне кодування -  $[i^-, j^*]$  – зворотна дуга.

Варіант умов – 3. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ ,

$a'_{102-104} = T_{102} + D_{102-104} - T_{104} = 6 + 13 - 19 = 0$  – умова виконується. Перевіряємо умову  $f_{ij} > 0$ ,  $f_{ij} = f_{102-104} = 1$ ,  $1 > 0$  – умова виконується.

$S_{ij} = (-j; Q_i)$ . Визначаємо другу частину коду 104 за формулою:

$$Q_i = \min(Q_j; f_{ij}).$$

$$Q_{102} = \min(Q_{104}; f_{102-104}) = \min(2; 1) = 1. \text{ Подія 102 отримала код } (-104; 1).$$

Остання подія а також всі події отримали коди, тому ми маємо «прорив» сіті. Це означає, що в сітьовій моделі необхідно змінити потік  $f$  на величину другої частини коду останньої події 104, рівний 2 ( $j_{104}=2$ ). Отримали прорив потоку за критичнім шляхом (101-103) - (103-104). Змінюємо потік  $f$  за вказаними роботами:

$$f_{ij}^{нов} = f_{ij}^{cm} + Q_j. \quad \begin{aligned} f_{101-103} &= f_{101-103} + Q_{104} = 0 + 2 = 2 \\ f_{103-104} &= f_{103-104} + Q_{104} = 1 + 2 = 3 \end{aligned}$$

Починаємо переглядати (кодувати) сітьову модель по третьому разу.

Розглянемо роботу 101-102. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ ,

$a'_{101-102} = T_{101} + D_{101-102} - T_{102} = 0 + 6 - 6 = 0$  – умова виконується. Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{101-102} = 2$ ,  $c_{ij} = c_{101-102} = 2$ ,  $2=2$  – умова не виконується.

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$

$$a''_{101-102} = T_{101} + d_{101-102} - T_{102} = 0 + 4 - 6 = -2 \neq 0$$

Отже, подію 102 неможливо закодувати із події 101.

**ПРОЄКТ**  
Не виконана  
Портявець  
Марина  
Олександрівна

Розглянемо роботу 101-103. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$

$a'_{101-103} = T_{101} + D_{101-103} - T_{103} = 0 + 11 - 11 = 0$  – умова виконується. Перевіряємо умову  $f_{ij} < c_{ij}$ ,  $f_{ij} = f_{101-103} = 2$ ,  $c_{ij} = c_{101-103} = 2$ ,  $2=2$  – умова не виконується.

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$a''_{101-103} = T_{101} + d_{101-103} - T_{103} = 0 + 8 - 11 = -3 \neq 0$  - умова не виконана.

Отже, подію 103 неможливо закодувати із події 101.

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Розглянемо роботу 101-104. Пряме кодування -  $[i^*, j^-]$  - пряма дуга.

Варіант умов – 1. Перевіряємо умову  $a'_{ij} = 0$ ,

$a'_{101-104} = T_{101} + D_{101-104} - T_{104} = 0 + 20 - 19 = 1 \neq 0$  - умова не виконується.

Варіант умов – 2. Перевіряємо умову  $a''_{ij} = 0$ .

$a''_{101-104} = T_{101} + d_{101-104} - T_{104} = 0 + 18 - 19 = -1 \neq 0$  - умова не виконується.

Отже, подію 104 неможливо закодувати із події 101.

Виходячи з того, що всі можливі шляхи до закодування останньої події заборонені (жодна умова не виконується) наступив випадок «непрориву» сіті.

Визначаємо дві безлічі подій (які мають код і не мають коду), вони породжують чотири можливих комбінацій коду (дуги або роботи)  $(i^*, j^*), (i^*, j^-), (i^-, j^*), (i^-, j^-)$ . Виділимо тільки ті роботи, які мають одну закодовану, та одну незакодовану подію: (101-103), (101-102), (101-104) - прямі дуги  $(i^*, j^-)$ . Для кожної з цих робіт визначимо необхідні характеристики (табл. 1.3).

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Таблиця 1.3

| Дуги    | Резерв критичності                                 | Резерв скорочення                         |
|---------|--|---|
|         | $a'$   | $a''$                                     |
| 101-102 | $0+6-6=0$  | $0+4-6=-2$                                |
| 101-103 | $0+11-11=0$  | $0+8-11=-3$                               |
| 101-104 | $0+20-19=1$  | $0+18-19=-1$                              |
|         | $\Delta_1 = \min -a'  = \text{----}$<br>(відсутнє) | $\Delta_2 = \min -a''  = \min(1,2;3) = 1$ |
|         | $\Delta T_3 = \min(\Delta_1, \Delta_2) = 1$        |   |

$\Delta T_3$  - це мінімальне значення скорочення критичного шляху, яка приводить до діалектичної єдності вузлових чисел  $T_i$  та дугових потоків  $f_{ij}$ , тобто унаслідок визначення  $\Delta T$  змінні прямої і двоїстої задач приводяться у відповідність одна з одною, при цьому виникає можливість подальшого скорочення  $T_n$  до  $T_3$ , тобто  $T_{104} \leq T_3$ . Для подій, які не отримали коду (події 102, 104 та 103 не отримали коду), терміни здійснення міняються на  $\Delta T_3 = 1 =$

$$T_{104} = 19 - 1 = 18$$

$$T_{103} = 11 - 1 = 10.$$

$$T_{102} = 6 - 1 = 5$$

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

#### Ітерація №4.

Оптимізація закінчена, оскільки  $T_{104} = 18 \leq T_3 = 18$ . Мета досягнута, але треба ще знайти невідомі змінні  $x_{ij}$ . Визначаємо оптимальні режими виконання робіт за формулою  $x_{ij} = \min(D_{ij}; T_j - T_i)$  та надписуємо їх значення над роботами (дугами):

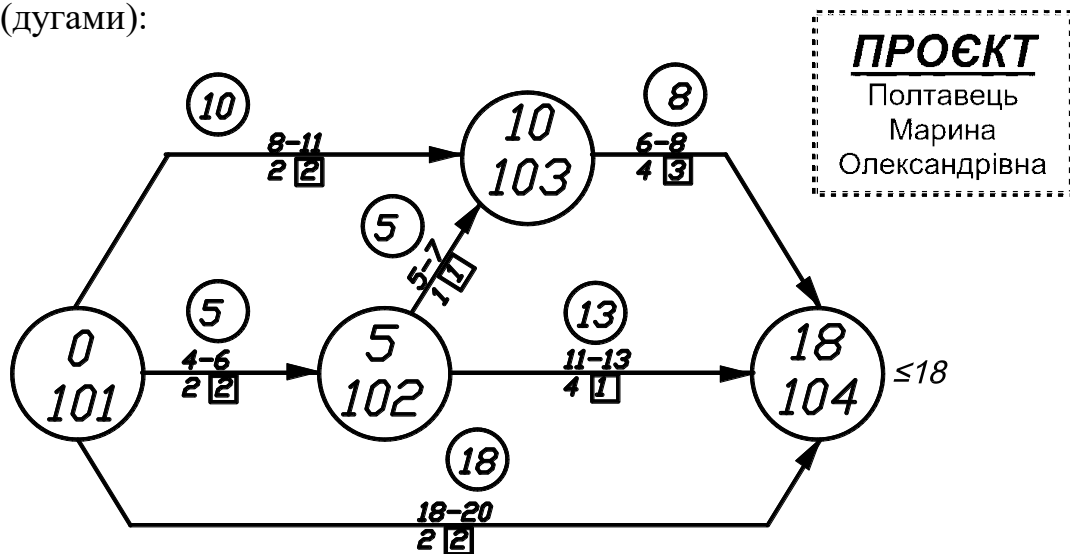


Рисунок 1.8 - Сітьова модель (ітерація №4 – оптимальне рішення)

$$x_{101-102} = \min(6; 5 - 0) = \min(6; 5) = 5$$

$$x_{101-103} = \min(11; 10 - 0) = \min(11; 10) = 10$$

$$x_{101-104} = \min(20; 18 - 0) = 18$$

$$x_{102-103} = \min(7; 10 - 5) = 5$$

$$x_{102-104} = \min(13; 18 - 5) = 13$$

$$x_{103-104} = \min(8; 18 - 10) = 8.$$

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

### 1.4 Виробничо-економічний аналіз оптимізаційної задачі та висновки

Для усвідомлення економічної суті рішення задачі, отриманого внаслідок вибору оптимальних варіантів режимів виконання робіт, його аналіз доцільно і наочно виконати в табличній формі (табл. 1.4) з наведенням результатів змін цільових функцій  $L(x)$  та  $Z(f)$ . Економічний аналіз кінцевої ітерації (оптимального рішення) приведено в табл. 1.4., де відображена мінімізація залучення додаткових сумарних трудових ресурсів  $\sum_{(i,j) \in A} \Delta n_{ij}$  для дотримання  $T_{зад.}$

Таблиця 1.4 - Таблиця економічного аналізу рішення задачі

| код роботи<br>(i-j) | $d_{ij}$ | $D_{ij}$ | $x_{ij}$  | $c_{ij}$ | $f_{ij}$ | $c_{ij} \cdot x_{ij}$          | $c_{ij} \cdot D_{ij}$          | $c_{ij} \cdot d_{ij}$          | $\gamma_{ij}$ | $\delta_{ij}$ | $\gamma_{ij} \cdot D_{ij}$    | $d_{ij} \cdot \delta_{ij}$   |
|---------------------|----------|----------|-----------|----------|----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------|------------------------------|
| <b>1</b>            | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b>  | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b>                       | <b>8</b>                       | <b>9</b>                       | <b>10</b>     | <b>11</b>     | <b>12</b>                     | <b>13</b>                    |
| 101-102             | 4        | 6        | 5         | 2        | 2        | 10                             | 12                             | 8                              | 0             | 0             | 0                             | 0                            |
| 101-103             | 8        | 11       | <b>10</b> | 2        | 2        | 20                             | 22                             | 16                             | 0             | 0             | 0                             | 0                            |
| 101-104             | 18       | 20       | <b>18</b> | 2        | 2        | 36                             | 40                             | 36                             | 0             | 0             | 0                             | 0                            |
| 102-103             | 5        | 7        | 5         | 1        | 1        | 5                              | 7                              | 5                              | 0             | 0             | 0                             | 0                            |
| 102-104             | 11       | 13       | <b>13</b> | 4        | 1        | 52                             | 52                             | 44                             | 3             | 0             | 39                            | 0                            |
| 103-104             | 6        | 8        | 8         | 4        | 3        | 32                             | 32                             | 24                             | 1             | 0             | 8                             | 0                            |
|                     |          |          |           |          |          | <b><math>\Sigma=155</math></b> | <b><math>\Sigma=165</math></b> | <b><math>\Sigma=133</math></b> |               |               | <b><math>\Sigma=47</math></b> | <b><math>\Sigma=0</math></b> |

Значення змінних колонок 10 та 11 у табл. 1.4 -  $\gamma_{ij}$   $\delta_{ij}$  позначає двоїсті змінні оцінок  $D_{ij}$  та  $d_{ij}$ . Визначимо  $\gamma_{ij}$  та  $\delta_{ij}$  за допоміжною таблицею 1.5.

Таблиця 1.5 - Таблиця для визначення двоїстих змінних  $\gamma_{ij}$  та  $\delta_{ij}$

|             |   |
|-------------|---|
| $x = D$     | $\delta = 0$<br>$\gamma = \max(0; c - f)$ |
| $d < x < D$ | $\gamma = 0$<br>$\delta = 0$              |
| $x = d$     | $\gamma = 0$<br>$\delta = \max(0; f - c)$ |

На основі приведених розв'язків та міркувань за табл. 1.4 знаходимо цільові функції задачі.

$$\text{Цільова функція прямої задачі: } L(x) = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$$

$$L(x) = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} = 10 + 20 + 36 + 5 + 52 + 32 = 155 \text{ одиниць трудомісткості}$$

$$\text{Цільова функція двоїстої задачі: } Z(f) = TV + \sum_{(i,j) \in A} D_{ij} \gamma_{ij} - \sum_{(i,j) \in A} d_{ij} \delta_{ij} \rightarrow \min$$

$$Z(f) = TV + \sum_{(i,j) \in A} D_{ij} \gamma_{ij} - \sum_{(i,j) \in A} d_{ij} \delta_{ij} = 18 * 6 + 47 - 0 = 155 \text{ одиниць трудомісткості,}$$

де  $T$  – критичний шлях  $T_{зад}$ ;  $V$  – двоїста змінна  $T_{кр}$  (сума вихідного або вхідного потоку), відображає умову збереження потоку (скільки одиниць потоку входить в проміжну подію, стільки виходить з неї) тобто - це сумарний потік, який виходить з початкової події 101 або входить в кінцеву подію 104:

$$V^{вихід} = \sum f_{i4} = f_{101-104} + f_{101-102} + f_{101-103} = 2 + 2 + 2 = 6$$

$$V^{вхід} = \sum f_{i4} = f_{103-104} + f_{102-104} + f_{101-104} = 3 + 1 + 2 = 6$$

Отже, правильність вирішення задачі перевіряємо за виконанням наступних умов.

Умова - 1) Умова збереження потоку - значення сум вихідних та вхідних потоків повинні бути однакові  $V^{вихід} = V^{вхід}$ ;  $6 = 6$ .

Умова - 2) Умова рівності цільових функцій прямої та двоїстої задач (див. теореми двоїстості)  $L(x) = Z(f)$ ;  $155 = 155$ .

Визначаємо сумарне залучення ресурсів в умовах традиційного методу планування:

$$\sum_{(i,j) \in A}^{традиц} \Delta n_{ij} = \sum_{(i,j) \in A} D_{ij} c_{ij} - \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} d_{ij} = 165 - 133 = 32 \text{ одиниць трудомісткості.}$$

Визначаємо сумарне залучення ресурсів в умовах оптимізації процесу планування:

$$\sum_{(i,j) \in A}^{оптим} \Delta n_{ij} = \sum_{(i,j) \in A} D_{ij} c_{ij} - \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} = 165 - 155 = 10 \text{ одиниць трудомісткості.}$$

Визначаємо результат оптимізації процесу виробництва  $\Delta = \frac{10 * 100}{32} = 31,25\%$ .

Висновок. Для виконання будівництва в заданий термін  $T_{зад} = 18$  міс. (1,5 року) слід вибрати такі режими виробництва які вимагають залучення додаткових ресурсів  $\sum_{(i,j) \in A}^{традиц} \Delta n_{ij} = 32$  (од. труд.)

При традиційних методах планування залучення ресурсів складає 32 одиниць трудомісткості (100%), а при оптимальному рішенні - 10 одиниць трудомісткості (31,25%). Завдяки рішенню задачі на оптимум, додаткове залучення ресурсів складе 31,25% в порівнянні з традиційними методами планування.

Рівність  $Z(f)$  та  $L(x)$  згідно теоремам двоїстості (див. вище) показує, що задача вирішена правильно, а змінні, відповідні цільовим функціям, мають оптимальне значення.

Практична цінність задачі Форда-Фалкерсона - сприяння в об'єктивній оцінці ситуації по задачі об'єктів в експлуатацію. Так, якщо об'єкт зводиться з порушенням термінів як нормативних так і планових, то завжди на будь-якій його стадії можна виробити рішення, які мінімізують зусилля на його зведення.

Це здійснюється таким чином:

- 1) визначаються залишкові об'єми робіт і їх трудомісткість;
- 2) встановлюються можливі режими виробництва (у нормальних умовах і прискорені);
- 3) за допомогою процедури кодування подій визначаємо рішення, в якому  $T_n = T_{зад}$ .

Визначити рішення задачі - це встановити змінні величини  $x_{ij}$ , які максимізували (мінімізували) цільову функцію  $\max L(x)$  ( $\min Z(f)$ )\*. Визначивши невідомі  $x_{ij}$  ми отримали екстремальні значення цільової функції. Значення  $x_{ij}$  визначають режими виконання робіт  $(i, j) \in A$ , при яких дотримується заданий термін будівництва, а зусилля на досягненні мети будуть мінімальними.

**ПРОЕКТ**

Полтавець

Марина

Олександрівна



## 2 РОЗРОБКА ДЕВЕЛОПЕРСЬКОГО ПРОЄКТУ, ПРАКТИКУМ

### ПРОЄКТ

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

### 2.1 Вихідні дані до розроблення девелоперського проекту житлового комплексу

Виконаємо розроблення девелопментського проекту житлового комплексу із сучасною інфраструктурою за напрямом екологізації нерухомості «Зелений острів». Девелопментський проект являтиме собою житловий комплекс котеджного типу, що складатиметься з будівель житлового та комерційного призначення, а також дитячого та спортивного майданчиків. Котеджі – двоповерхові будівлі, з вбудованим гаражем. За кожним котеджем закріплена прибудинкова земельна ділянка.

Цілі проекту зображено у вигляді «дерева цілей» (рис. 2.1 ).



Рисунок 2.1 – «Дерево цілей» проекту створення житлового комплексу екологічного спрямування

Будівництво відбуватиметься за технологією «пасивний будинок», з використанням матеріалів, які вимагаються цією технологією. Освітлення

кожного будинку буде здійснюватись за допомогою індивідуальних сонячних електростанцій – фотомодулів потужністю 4 кВт. Опалення кожного будинку і підігрів води буде здійснюватись з допомогою комплексного рішення на основі сонячного колектора і твердопаливного котла. Лише в зимовий період ця система потребуватиме часткової підтримки зовнішнього енергопостачання. Тому в рамках даного проекту передбачено отримання технічних умов на приєднання до зовнішніх електромереж. У кожному будівлю буде подаватись вода зі свердловини.

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Каналізація планується автономна для кожної будівлі, з екологічною системою очистки стічних вод. З допомогою обладнання «розумний дім» буде здійснюватись автоматичний енергоменеджмент, що дозволить скоротити невиправдане споживання ресурсів, при цьому не завдаючи шкоди рівню комфорту осіб, що проживають в будинку. Територія екомістечка буде освітлюватись з допомогою ліхтарів на основі сонячних панелей. Однією із переваг житлового комплексу є місцезнаходження в екологічно чистому та мальовничому районі.

Одна із комерційних будівель буде здаватись в оренду під екомагазин із сертифікованими органічними продуктами. В інших будівлях можуть бути розміщені спортивні клуби, дитячі центри, магазини тощо. Кількісним результатом проекту створення екомістечка повинен бути зданий в експлуатацію згідно вимог чинного законодавства житловий комплекс котеджного типу, що складатиметься з 16 будівель, площею 150 кв.м. кожна, із них 12 будівель – житлові, 4 будівлі комерційного призначення.

Обмеженнями в проекті є межі та зміст проекту, час, бюджет. Зокрема, обмеженнями в аналізованому проекті щодо термінів закінчення є дата – 1 березня, а щодо витрат – власні кошти в розмірі 1 млн. у.о. Замовник також встановлює якісні параметри проекту. Ціллю є житловий комплекс котеджного типу, будівлі в якому будуть володіти якостями пасивного енергозбереження, а комфорт проживання досягатиметься завдяки автоматизованій системі управління житлом.

## 2.2 Оточення девелоперського проекту житлового комплексу



Враховуючи зазначені цілі, формулюємо місію – генеральну ціль проекту, яка визначається кінцевими результатами проекту, набором задоволених потреб та сукупністю споживачів.

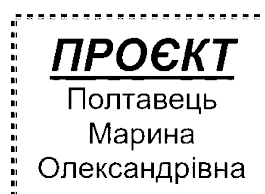
Цінності проекту створення екомістечка нерозривно пов'язані із наведеними вище цілями проекту і характеризують результат проекту.

Вочевидь, що запланований результат, отриманий з порушенням термінів чи перевищенням витрат, буде означати меншу цінність, ніж без таких порушень. Слід також наголосити, що встановлені терміни і бюджет проекту мають бути поміркованими (необхідними і достатніми), що само по собі вже створює певну цінність – цінність ефективного виконання проекту девелопменту.

Результат проекту безпосередньо чи опосередковано оцінюють стейкхолдери\* (рис. 2.2).

*(\*Стейкхолдер (stakeholder) - поняття, яке описує людину, групу осіб або окремі організації, чії дії, поведінка або рішення можуть впливати на прибуток компанії і процеси в ній. Стейкхолдерів поділяють на внутрішніх (знаходяться всередині організації) і зовнішніх (за межами підприємства). У загальносвітовій практиці до стейкхолдерів фірми відносять такі групи осіб: постачальників, кінцевих покупців товару, посередників, інвесторів, працівників та засновників компанії.)*

За 5-бальною шкалою оцінюємо підтримку та силу впливу кожного зі стейкхолдерів на проект. При цьому підтримка може бути позитивною, або негативною (спротив проекту). При побудові матриці враховуємо, що лідером є керівник проекту, який водночас є представником управляючої компанії. З точки зору можливості його впливу на інших стейкхолдерів, виставляємо бали за 5-тибальною шкалою (n), дані заносимо в колонку 5 таблиці 2.1 .



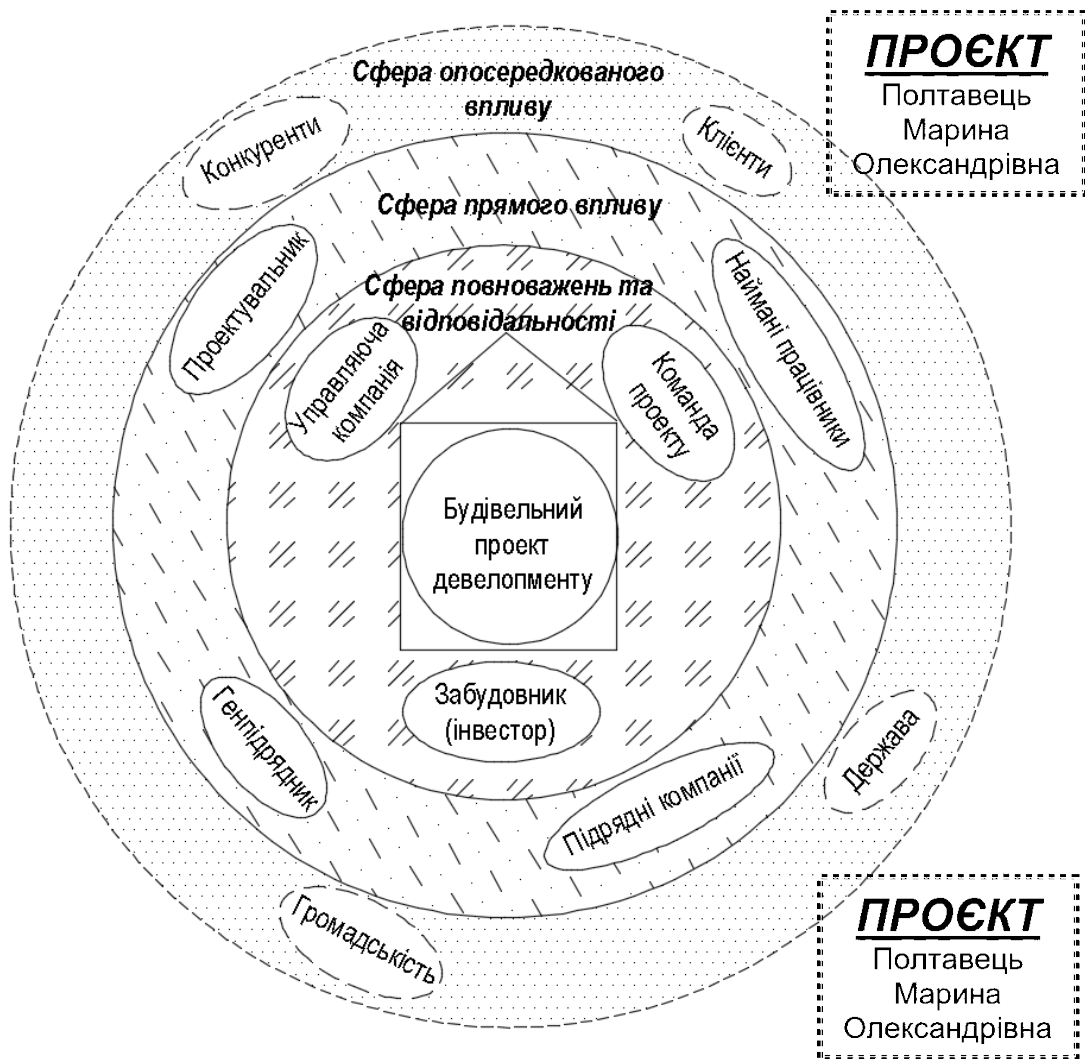


Рисунок 2.2 – Карта системи стейкхолдерів , зацікавлених сторін проекту девелопменту

Таблиця 2.1 – Оцінка ризику конфлікту та впливу стейкхолдерів на проект

| Номер стейкхолдера | Зацікавлена сторона            | Підтримка (x) | Сила впливу на проект (y) | Можливість впливу лідера на стейкхолдерів (n) |
|--------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------|---|
| 1                  | Забудовник (інвестор)          | +5            | 3                         | 1   |
| 2                  | Управляюча компанія (замовник) | +5            | 4                         | 1   |
| 3                  | Менеджер проекту               | +5            | 5                         | -   |
| 4                  | Команда проекту                | +4            | 4                         | 1   |
| 5                  | Генпідрядник                   | +4            | 3                         | 2   |
| 6                  | Проектувальник                 | +3            | 3                         | 2   |
| 7                  | Підрядні компанії              | +3            | 2                         | 2   |
| 8                  | Наймани працівники             | +2            | 1,5                       | 2   |
| 9                  | Клієнти (покупці)              | +2            | 1                         | 3   |
| 10                 | Держава                        | -1            | 4                         | 3   |
| 11                 | Конкуренти                     | -2            | 1,5                       | 3   |
| 12                 | Громадськість                  | -1            | 2                         | 3   |

Розробимо матрицю впливів на проект девелопменту «Підтримка-сила»

(рис. 2.3).

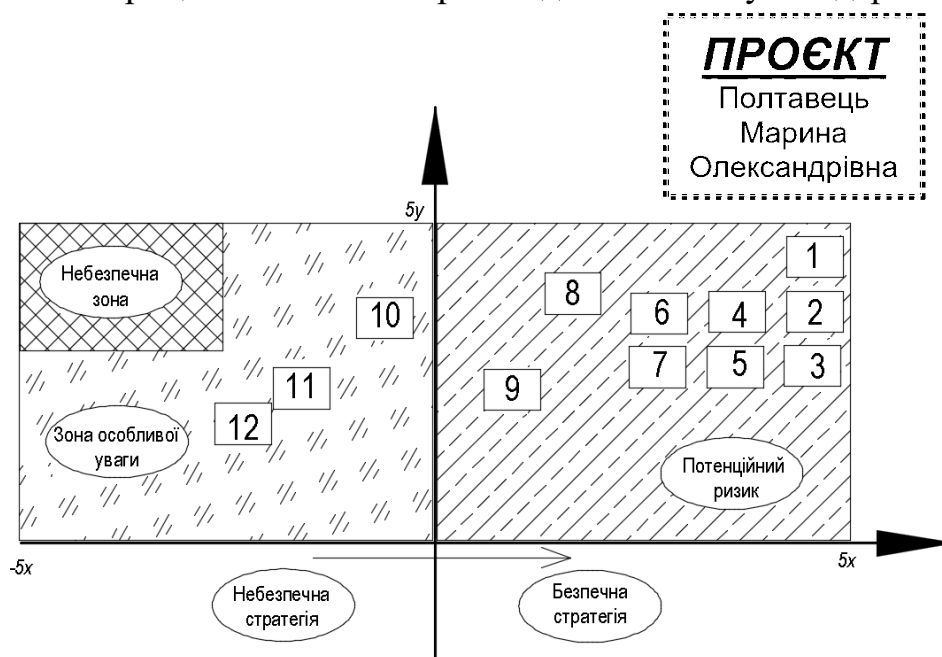


Рисунок 2.3 – Матриця впливів на проект девелопменту «Підтримка-сила»

Оточення проекту – це чинники впливу на його підготовку та реалізацію. Усі чинники можна розділити на зовнішні, тобто що не залежать від самого проекту, та внутрішні, що безпосередньо виникають у межах проекту. Оцінити загрози зовнішнього середовища проекту дозволяє PEST-аналіз (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Фактори, які можуть мати вплив на проект

| Політичні фактори  | Економічні фактори   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- зміни законодавства в галузі оподаткування;</li> <li>- державний контроль за діяльністю бізнесу;</li> <li>- - зміни законодавства в галузі будівництва та дозвільних процедур.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Рівень інфляції;</li> <li>- - коливання курсів валют;</li> <li>- - коливання цін на нерухомість.</li> </ul>   |
| Соціально-культурні фактори  | Технологічні фактори   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- зміна суспільної поведінки в напрямку енергозбереження;</li> <li>- - рівень індивідуальних доходів;</li> <li>- - здатність та готовність суспільства до енергонезалежності.</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- винахід нових високоефективних будматеріалів;</li> <li>- - інновації в галузі енергоефективного будівництва;</li> <li>- - інновації в галузі ІТ-рішень для енергоаудиту та управління «розумним будинком».</li> </ul> |

**ПРОЄКТ**

Основні групи внутрішніх ризиків проекту створення житлового комплексу та їх експертні оцінки вагомості та ступеня впливу на проект наведені в таблиці 2.3, на підставі якої будують матрицю ризиків.

Таблиця 2.3 – Ризики проекту створення житлового комплексу

| № ризику | Ризик                  | Вірогідність ризику | Ступінь впливу ризику (вагомість) |
|----------|------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1        | Виробничі              | 0,8                 | 0,9                               |
| 2        | Проектно-кошторисні    | 0,1                 | 0,3                               |
| 3        | Маркетингові           | 0,6                 | 0,6                               |
| 4        | Інформативні           | 0,3                 | 0,4                               |
| 5        | Фінансово-господарські | 0,4                 | 0,4                               |
| 6        | Кадрові                | 0,5                 | 0,5                               |

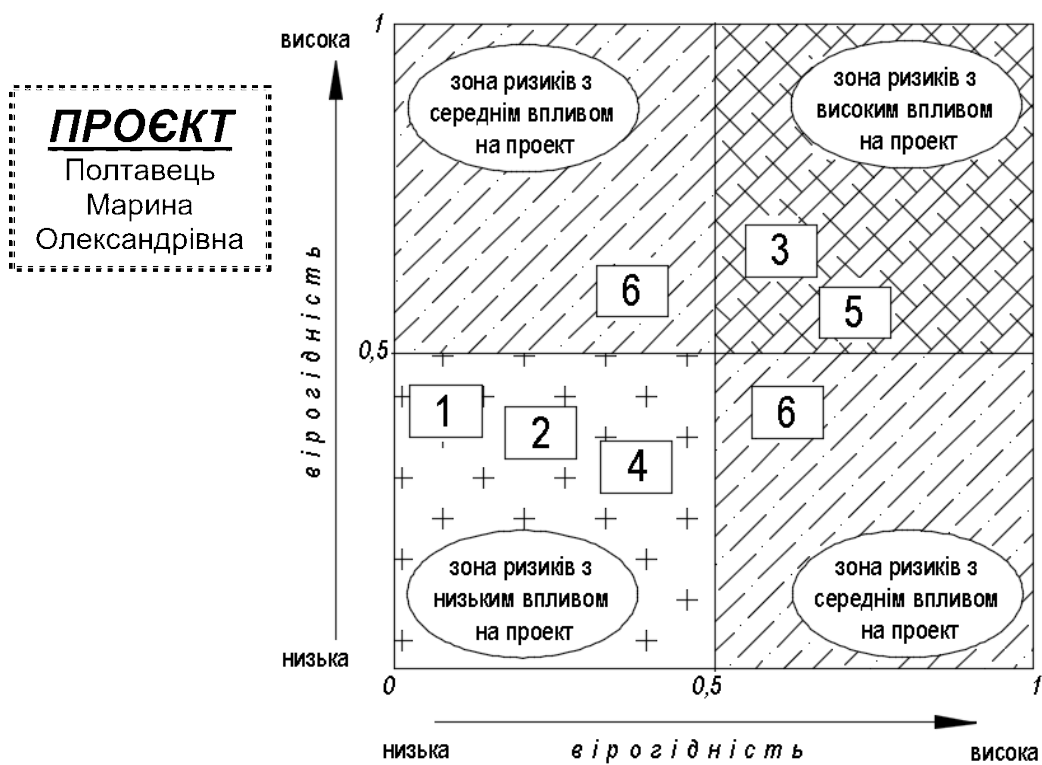


Рисунок 2.4 – Матриця ризиків проекту

WBS-структура\* проекту створення екологічного житлового комплексу зображена на рис. 2.5.

(\*WBS проекту (вона ж Work Breakdown Structure або ICP, Ієрархічна Структура Робіт) - це розбиття проекту на конкретні результати, які

повинні бути досягнуті для досягнення цілей проекту. Як правило, на верхньому рівні вказується сам проект, під ним (на першому рівні) - основні результати, кожен з яких, в свою чергу, деталізується, тобто наступний рівень завжди менше попереднього за обсягом робіт і, як правило, включає 2 і більше пакетів робіт. При цьому в різних гілках WBS може бути різна кількість рівнів в залежності від потрібного ступеня деталізації).



Рисунок 2.5 - WBS-структура проекту будівництва екологічного житлового комплексу

### 2.3 Формування організаційної структури девелоперського проекту

Оскільки проект створення екологічного житлового комплексу буде реалізуватися управляючою організацією, яка отримує свій прибуток в основному з проектів, що виконуються для інших фірм, доцільно використовувати матричну організаційну структуру.

Керівник проекту – проектний менеджер – має низький рівень керованості. Частка ресурсів задіяна в проект – 15-60%, роль керівника проекту – постійна, статус команди – частковий. Таким чином, вибираємо організаційну

структуру «збалансована матриця», в рамках організаційної структури управляючої компанії (рис. 2.6).

В команду управління проекту створення екологічного житлового комплексу необхідно підібрати наступних учасників: керівник проекту (проектний менеджер), фінансовий менеджер, головний інженер, головний архітектор, інженер комп'ютерних систем, бухгалтер, юрист, менеджер із закупівель, менеджер з продажу.



Рисунок 2.6. – OBS-структура проекту

Основою для формування команди є схема розподілення ролей, котра зазвичай має вигляд таблиці, де в строки занесені звітні результати, а в стовпці - організаційні одиниці подано в табл. 2.4. Умовні позначення до таблиці 2.4: X – виконує роботу; В – бере участь в прийнятті рішення; Р – погоджує, приймає рішення; С– з ним необхідно проконсультуватись; І – його слід проінформувати; А – можливий радник.





Таблиця 2.4 – Матриця відповідальності

| Задачі для виконання  | Виконави |                     |                  |                     |                      |           |         |                        |                    |         |
|---|----------|---------------------|------------------|---------------------|----------------------|-----------|---------|------------------------|--------------------|---------|
|   | Керівник | Фінансовий менеджер | Головний інженер | Головний архітектор | Інженер комп'ютерних | Бухгалтер | Юрист   | Менеджер із закупівель | Менеджер з продажу |         |
| Організація передінвестиційних досліджень   | Р, Х     | Х, В                | С                | С                   | С                    | І         | С       | С                      | А                  |         |
| Розробка проектно-кошторисної документації, планування проекту та підготовка до будівництва   | Р        | Х, В                | Х                | Х                   | С                    | І         | С       | І                      | -                  |         |
| Проведення торгів, укладання контрактів, організація закупівель і поставок, підготовчі роботи | Р        | С, І                | С, І             | С, І                | С, І                 | Х         | Х       | Х, В                   | -                  |         |
| Будівельно-монтажні роботи  | Р        | С, І                | Х, В             | Х, В                | Х, В                 | І         | С, І    | А                      | -                  |         |
| Завершення будівельної фази   | Р        | Х, В                | Х, В             | Х, В                | Х, В                 | Х         | Х       | Х, В                   | -                  |         |
| Благоустрій території   | Р        | С, І                | С                | С                   | -                    | І         | С, І    | В                      | -                  |         |
| Управління змістом та обсягами робіт  | Р, Х     | Х, В, І             | Х, В, І          | Х, В, І             | Х, В, І              | Х, В, І   | Х, В, І | Х, В, І                | Х, В, І            | Х, В, І |
| Управління часом  | Р, Х     | Х, В, І             | Х, В, І          | Х, В, І             | Х, В, І              | Х, В, І   | Х, В, І | Х, В, І                | Х, В, І            | Х, В, І |
| Управління вартістю   | Р, Х     | Х, В, І             | С, І             | С, І                | С, І                 | С, І, Х   | С, І    | Х, В., І               | С, І               |         |
| Управління якістю   | Р, Х     | С, Х, В             | С, Х, В          | С, Х, В             | С, Х, В              | С, Х, В   | С, Х, В | С, Х, В                | С, Х, В            | С, Х, В |
| Управління ресурсами  | Р, Х     | С, Х, В             | С, Х, В          | С, Х, В             | С, Х, В              | С, І      | С       | С, І                   | С, І               |         |
| Управління ризиками   | Р, Х     | С, Х, В             | С, Х, В          | С, Х, В             | С, Х, В              | І         | С, Х, В | С, Х, В                | С, Х, В            |         |
| Управління інформацією та комунікаціями   | Р, Х     | Х, В                | Х, В             | Х, В                | Х, В                 | Х, В      | Х, В    | Х, В                   | Х, В               |         |
| Управління зацікавленими сторонами  | Р, Х     | Х, В                | Х, В             | Х, В                | А                    | -         | Х, В    | С                      | Х, В               |         |

Оскільки проект створення екологічного житлового комплексу, як і будь-який інший проект, являє собою комплекс пов'язаних дій, нам необхідно розглянути їх взаємозв'язки і те, як вони впливають на графік виконання проекту. Зокрема, зв'язок «фініш – старт» переважає у роботах в аналізованому проекті. Так, будівельні роботи можуть розпочатися лише після погодження проектно-кошторисної документації; пусконаладжувальні роботи можуть розпочатися лише після завершення будівельно-монтажних робіт і т.д.

Інший аспект, який треба брати до уваги, це часові розриви – лаги. В проекті створення житлового комплексу екоспрямування з таким розривом є роботи, коли відбувається подача документів на погодження через дозвільний

офіс і потрібно декілька днів, щоб безпосередній виконавець дозвільної процедури їх отримав.

Протилежністю до лаги є випередження. Наприклад, хоча між отриманням технічних умов і розробкою робочого проекту є зв'язок фініш–старт, частина робіт зі створення робочого проекту може бути зроблена раніше, а частина, пов'язана з інженерними мережами – після отримання технічних умов.

## 2.4 Календарне та фінансове планування девелоперського проекту житлового комплексу

**ПРОЕКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Маючи визначені взаємозв'язки у проекті, можна приступати до побудови сітьового графіка, який потім буде корисним для створення календарного графіка. Оскільки аналізований проект має велику кількість завдань, будувати сітьові графіки чи графіки передування не є доцільно. Однак, полегшити роботу проектного менеджера дозволяє наявність відповідного програмного забезпечення.

Розробка календарного плану означає визначення дат старту та фінішу для робіт проекту. Якщо дати старту та фінішу не є реальними, то мало ймовірно, що проект завершиться так, як це планувалося. Перед тим, як скласти реальний графік проекту, беремо до уваги інформацію з WBS, взаємозв'язки між роботами та їх тривалості. Перед складанням календарного графіка нам необхідно впевнитися, що кожній роботі проекту призначено ресурси, перевірити відповідність кваліфікації людських ресурсів тим завданням, які їм доручено. Так само перевіряємо тривалості робіт. Важливо звернути увагу на роботи, які виконуються за схемою «якнайпізніше». Після зазначених вище перевірок виконуємо підрахунок тривалості робіт, що є обмеженими за ресурсами, і робіт, що обмежені за часом.

Головний календарний план проекту з розподілом робіт по кварталах наведено в табл.2.5.

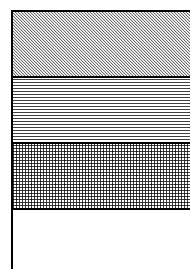
**ПРОЕКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Таблиця 2.5 – Календарний план проекту

| Найменування події   | Перший рік |       |        |       | Другий рік |       |        |       | Третій рік |       |        |       | Четвертий рік |       |        |       |
|--|------------|-------|--------|-------|------------|-------|--------|-------|------------|-------|--------|-------|---------------|-------|--------|-------|
|  | I кв       | II кв | III кв | IV кв | I кв       | II кв | III кв | IV кв | I кв       | II кв | III кв | IV кв | I кв          | II кв | III кв | IV кв |
| <b>Проект створення житлового комплексу</b>                                    |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| <b>1.Передінвестиційна фаза</b>  |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 1.1 Організація передінвестиційних досліджень                                  |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 1.2 Розробка проектно-конструкторської документації, підготовка до будівництва |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| <b>2 Інвестиційна (будівельна фаза)</b>  |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 2.1 Проведення торгів, організаційних закупівель, підготовка робіт             |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 2.2 Будівельно-монтажні роботи   |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 2.3 Завершення будівельної фази  |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| <b>3 Благоустрій території</b>   |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 3.1 Ландшафтний дизайн прилеглих територій                                     |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 3.2 Облаштування зон відпочинку та спортивних зон                              |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| <b>4 Управління основними параметрами проекту</b>                              |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 4.1 Управління змістом та обсягами робіт                                       |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 4.2 Управління часом   |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 4.3 Управління вартістю  |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 4.4 Управління якістю  |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 4.5 Управління ресурсами   |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 4.6 Управління ризиками  |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 4.7 Управління інформацією та комунікаціями                                    |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |
| 4.8 Управління зацікавленими сторонами   |            |       |        |       |            |       |        |       |            |       |        |       |               |       |        |       |

Умовні позначення до таблиці 2.5:

- тривалість проекту
- тривалість віх (фаз) проекту
- тривалість робіт проекту
- квартали, в які роботи проекту не виконуються



Таблиця 2.6 – Бюджет проекту

| Бюджет проекту                          | Весь період реалізації проекту |                |           |                            |                |
|---|--------------------------------|----------------|-----------|----------------------------|----------------|
|   | Статті витрат                  | Одиниці виміру | Кількість | Вартість одиниці, грош.од. | Сума, грош.од. |
| 1. Витрати на персонал                  | -                              | -              | -         | -                          | -              |
| 1.1 Заробітна плата команди проекту     | -                              | -              | -         | -                          | 28919,1        |
| 1.1.1 Менеджер проекту                  | грош. од./год                  | 2494,03        | 4         | 9976,12                    |                |
| 1.1.2 Бухгалтер                         | грош. од./год                  | 97,92          | 2         | 195,84                     |                |
| 1.1.3 Юрист                             | грош. од./год                  | 747,12         | 2         | 1494,24                    |                |
| 1.1.5 Головний інженер                  | грош. од./год                  | 985,32         | 3         | 2955,96                    |                |
| 1.1.6 Головний архітектор               | грош. од./год                  | 801,85         | 3         | 2405,55                    |                |
| 1.1.7 Менеджер з закупівель             | грош. од./год                  | 866,72         | 2         | 1733,44                    |                |
| 1.1.8 Менеджер з продажу                | грош. од./год                  | 1022           | 2         | 2044,00                    |                |
| 1.1.9 Інженер комп'ютерних систем       | грош. од./год                  | 1081,77        | 3         | 3245,31                    |                |
| 2 Оплата за договорами                  | -                              | -              | -         | -                          | 91764          |
| 2.1 Будівельно-монтажні роботи          | грош. од./м <sup>2</sup>       | 2400           | 25,93     | 62232                      |                |
| 2.2 Проектно-вишукувальні роботи        | грош. од./м <sup>2</sup>       | 2400           | 7,43      | 17832                      |                |
| 2.3 Консультації                        | грош. од./год                  | 250            | 6         | 1500                       |                |
| 2.4 Узгодження технічних умов           | грош. од./м <sup>2</sup>       | 2400           | 3         | 7200                       |                |
| 2.5 Роботи з облаштування майданчиків   | грош. од./год                  | 100            | 10        | 1000                       |                |
| 2.6 Роботи з оформлення газонів         | грош. од./год                  | 200            | 10        | 2000                       |                |
| 3. Обладнання та матеріали              | -                              | -              | -         | -                          | 882660         |
| 3.1 Закупівля будівельних матеріалів    | грош. од./м <sup>2</sup>       | 2400           | 245       | 588000                     |                |
| 3.2 Закупівля обладнання «розумний дім» | за комплектом                  | 16             | 5000      | 80000                      |                |
| 3.3 Сонячні ліхтарі                     | шт.                            | 6              | 770       | 4620                       |                |
| 3.4 Тротуарна плита                     | м <sup>2</sup>                 | 500            | 5         | 2500                       |                |
| 3.5 Споруди для дитячого майданчика     | за комплектом                  | 1              | 2000      | 2000                       |                |
| 3.6 Спортивні споруди                   | за комплектом                  | 1              | 3000      | 3000                       |                |
| 3.7 Сонячна електростанція              | шт.                            | 16             | 7000      | 112000                     |                |
| 3.8 Система опалення та нагріву води    | за комплектом                  | 16             | 5500      | 88000                      |                |
| 3.9 Рослини                             | шт.                            | 50             | 50        | 2500                       |                |
| 4. Функціонування офісу                 | -                              | -              | -         | -                          | 7657           |
| 4.1 Витрати на канцтовари               | на квартал                     | 13             | 15        | 195                        |                |
| 4.2 Телефонний зв'язок                  | на квартал                     | 13             | 15        | 195                        |                |
| 4.3 Інтернет-зв'язок                    | на квартал                     | 13             | 9         | 117                        |                |
| 4.4 Витрати на рекламу                  | на квартал                     | 13             | 550       | 7150                       |                |
| всього                                  | -                              | -              | -         | -                          | 1010960        |

Таким чином вартість проекту створення житлового комплексу екологічного спрямування 1010960 грош. од.

Таблиця 2.7 – Результати моніторингу діяльності проекту

| Показники                                  | Розрахункові етапи (роки) реалізації<br>девелоперського проекту |       |       |       |
|--|---|-------|-------|-------|
|  | 1 рік   | 2 рік | 3 рік | 4 рік |
| 1. Обсяг реалізованої продукції<br>(з ПДВ) | -   | 12000 | 24000 | 3000  |
| 2. Собівартість реалізованої<br>продукції, | -   | 8000  | 15000 | 18000 |
| У тому числі амортизація                   | -   | 600   | 1100  | 1300  |
| 3. Податки та інші відрахування            | -   | 900   | 1400  | 2700  |
| 4. Норма дисконту                          | -   | 0,10  | 0,10  | 0,10  |
| 5. Обсяг капіталовкладень                  | 5000  | 1000  | -     | -     |

Умовні позначки:

$R_t$  - результат, який досягється на  $t$ -му кроці розрахунку;

$Z_t$  - витрати на  $t$ -му кроці розрахунку без врахування капітальних вкладень;

$\Gamma$  - горизонт розрахунку, який дорівнює номеру етапу (місяць, квартал, рік), на якому виконується ліквідація об'єкту;

$E$  - норма дисконту (норма доходу на капітал);

$t$  - номер розрахункового кроку  $\{t = 0, 1, 2, \dots, T\}$ ;

$K_t$  – капітальні вкладення на  $t$ -му кроці розрахунку;

$E_{\text{вн}}$  - внутрішня норма прибутковості (ВНП), доли одиниці;

$t_{\text{ок}}$  - термін окупності капітальних вкладень;

$\Pi_{\text{в}}$  - валовий приуток;

$H$  – податки та збори.

1. Визначимо обсяг реалізованої продукції по розрахунковим крокам без урахування ПДВ, тис. грн.:

Перший крок =  $0/1,2=0$ ;

Другий крок =  $12000/1,2=10000$ ;

**ПРОЄКТ**Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Третій крок =  $24000/1,2=20000$ ;

Четвертий крок =  $30000/1,2=25000$ .

2. Обсяг чистого прибутку по розрахункам, тис. грн.;

Перший крок - відсутній,

Другий крок -  $10\ 000 - 8000 - 900 = 1100$ ;

Третій крок -  $20\ 000 - 15\ 000 - 1400 = 3600$ ; .

Четвертий крок -  $25\ 000 - 18\ 000 - 2700 = 4300$ .

3. Значення приведених ефектів по розрахунковим крокам

Перший крок = відсутній;

Другий крок =  $1100 + 900 = 2000$ ;

Третій крок =  $3600 + 1400 = 5000$ ;

Четвертий крок =  $4300 + 2700 = 7000$ .

4. Сума приведених (дисконтованих) ефектів, грн.:

Сумма ефектів =  $0/(1 + 0,1) + 2000/(1 + 0,1)^2 + 5000/(1 + 0,1)^3 + 7000/(1 + 0,1)^4 = 10373$ .

Визначимо термін окупності капітальних вкладень у девелоперський проект.

1. Загальний обсяг капіталовкладень, тис. грн.:

а) без дисконтування  $5000 + 1000 = 6000$ ;

б) з врахуванням дисконтування  $5000/(1+0,2) + 1000/(1+0,2)^2 = 4861$

2. Валовий прибуток, тис. грн.:

Перший рік =  $4000 - 3000 = 1000$ ,

Другий рік =  $8000 - 5500 = 2500$ ,

Третій рік =  $10\ 000 - 6000 = 4000$ ,

Четвертий рік =  $10\ 000 - 6000 = 4000$ .

3. Чистий прибуток,

Перший рік =  $1000 - 200 = 800$ ,

Другий рік =  $2500 - 400 = 2100$ ,

Третій рік =  $4000 - 500 = 3500$ ,

Четвертий рік =  $4000 - 500 = 3500$ .

4. Чистий прибуток, тис. грн.:

$$\text{Перший рік} = - 800 + 300 = 1100$$

$$\text{Другий рік} = 2100 + 400 = 2500,$$

$$\text{Третій рік} = 3500 + 400 = 3900$$

$$\text{Четвертий рік} = 3500 + 400 = 3900.$$

5. Приведений (дисконтований) дохід, тис. грн.:

$$\text{Перший рік} = 1100/(1+0,2) = 917,$$

$$\text{Другий рік} = 2500/(1+0,2)^2 = 1736,$$

$$\text{Третій рік} = 3900/(1+0,2)^3 = 2257$$

$$\text{Четвертий рік} = 3900/(1+0,2)^4 = 1880.$$

6. Термін окупності капіталовкладень:

Без урахування дисконтування:

$$\text{Перший рік окупається } 1100 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Другий рік окупається } 1100 + 2500 = 3600 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{За третій рік необхідно окупити } 6000 - 3600 = 2400 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Ця сума окупиться за } 2400/3900 = 0,62 \text{ року.}$$

$$\text{Отже строк окупності: } 2 + 0,64 = 2,64 \text{ роки}$$

З урахуванням дисконтування:

$$\text{За перший рік окупається } 917 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{За другий рік окупається } 917 + 1736 = 2653 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{За третій рік необхідно окупити } 4861 - 2653 = 2208.$$

$$\text{Ця сума окупиться за } 2208/2257 = 0,98 \text{ року.}$$

$$\text{Всього термін окупності: } 2 + 0,98 = 2,98 \text{ року.}$$

Таким чином, прогнозовані фінансові показники показують економічну доцільність проекту.

Розроблено проект створення екомістечка з поєднанням двох інноваційних технологій – «пасивного» та «розумного» будинку, реалізація якого, крім комерційної цінності для підприємства, має суспільну корисність – скорочення споживання енергоресурсів кінцевими користувачами будівель, які будуть збудовані в рамках проекту.

В роботі ідентифіковано ймовірні ризики, що можуть мати місце і від яких залежить успішність реалізації проекту. Так, для даного проекту характерні не тільки ризики, які притаманні більшості будівельних проектів, а й такі, що пов'язані із технологічною здійсненністю, оскільки в проекті буде поєднано кілька інноваційних технологій.

В умовах постійних змін зовнішнього середовища та посилення конкуренції управлінські інновації набувають особливої актуальності та значення, що потребує виділення їх як окремого виду інновацій з метою детального розгляду та обґрунтування їхніх особливостей, переваг для організації.

Успіх реалізації проекту значною мірою залежить від ефективної комунікації зі стейкхолдерами. Саме тому здійснено ідентифікацію стейкхолдерів, визначено міру їх впливу на проект та розроблено стратегію взаємодії.

Таким чином, девелопер повинен забезпечити та запустити складний багатосходинковий процес створення нового продукту - об'єкта нерухомості, звільнивши від цих турбот забудовника.

Він включає до себе підбір команди учасників проекту, дослідження ринку, маркетинг, проектування, будівництво, фінансування, бухгалтерський облік, управління майном.

Цей бізнес вимагає порівняно крупних інвестицій з тривалим циклом, а вироблений ним продукт спроможний тривалий час створювати регулярні потоки грошової маси. Але він повинен без затримки реагувати на зміни в технологіях, економіці, демографії, архітектурі, законодавстві, соціальній сфері.

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна



## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

**ПРОЕКТ**

Полтавець  
Марина  
Олександрівна

1. Асаул А.Н. Брижань, В.Я. Чевганова Економіка нерухомості : підручник.. Київ : Лібра, 2004. 304 с.
2. ДБН А.3.1-5-2016. Організація будівельного виробництва. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2016. 52 с. Полтавець  
Марина  
Олександрівна
3. ДБН Д.2.2.-99. Ресурсні та цінні кошторисні норми на будівельні роботи. Сб. 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 27. Київ : Держбуд України , 2000.
4. ДСТУ Б Д.2.2-48:2012 Вказівки щодо застосування ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи. Київ : Мінрегіон України, 2012. 10 с.
5. ДСТУ Б А.3.1-22:2013. Визначення тривалості будівництва об'єктів. Київ : ДП «Укрархбудінформ» , 2014. 30 с.
6. ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Київ : ДП «Укрархбудінформ» , 2012. 94 с.
7. ДСТУ Б А.3.1-13:2010 Номенклатура показників якості будівельної продукції. Основні положення. Київ : Мінрегіонбуд України.2010. 32 с.
8. ДБН В.1.2-12-2008 «Система надійності та безпеки в будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки». Київ : Мінрегіонбуд України.2008. 24 с.
9. ДНАОП 0.00-1.03-02 «Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів» Київ : Мінрегіонбуд України.2001. 34 с.
10. ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять». Київ : Мінрегіонбуд України.2006. 41 с.
11. ДБН В.2.2-15-2005 «Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення». Київ : Мінрегіонбуд України.2005. 32 с.
12. ДСТУ В В.2.2-29:2011 «Будинки і споруди. Будівлі підприємств». Київ : Мінрегіонбуд України.2011. 32 с.
13. ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення». Київ: Мінрегіонбуд України.2010. 40 с.

14. Організація будівництва : підручник / [С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін] ; за редакцією С.А. Ушацького. Київ : Кондор, 2007. 521 с.
15. Павлов І.Д., Арутюнян І.А., Полтавець М.О. Керування проектами та системотехніка в будівництві : навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2018. 152 с.
16. Пересада А.А. Управління інвестиційним процесом: підручник. Київ: Лібра, 2002. 472.
17. Поколенко В.О., Д.О. Приходько, О.В. Сліпенчук Модернізація сітєвих моделей для забезпечення раціональної організації девелоперського управління будівництвом // Управління розвитком складних систем - №6 – Київ: КНУБА, 2001 – С. 50-53.
18. Поліщук Є. А. Фінансування девелоперських проектів / Є.А. Поліщук // Інвестиції: практика та досвід. . 2009. № 10. С.10 – 13
19. Прокопенко В.Ю., М.А. Столбова Окремі аспекти управління девелоперськими проектами на ринку нерухомості // Управління розвитком складних систем - №7 Київ: КНУБА, С. 54-57. 2015.
20. Посібник з розробки проектів організації будівництва й проектів виконання робіт (до ДБН А.3.1-5-96). Київ : Укрархбудінформ, 1997. 105 с.
21. Постанова Кабінету Міністрів України від 8 вересня 2015 р. № 750 ПОРЯДОК прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів.
22. Технологія будівельного виробництва : Підручник / [В.К. Черненко, М.Г. Ярмоленко, Г.М. Батура та ін.]; за ред. В.К. Черненка, М.Г. Ярмоленка. Київ: Вища школа, 2002. 430 с.

**ПРОЄКТ**  
Полтавець  
Марина  
Олександрівна

Методичні вказівки  
до практичних занять  
(українською мовою)

Полтавець Марина Олександрівна

ДЕВЕЛОПМЕНТ  
ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ  
БУДІВЕЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ

Методичні вказівки  
до практичних занять  
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра  
спеціальності 192 - “Будівництво та цивільна інженерія”

Рецензенти *Рецензент-1, Рецензент-2*  
Відповідальний за випуск *І.А. Арутюнян*  
Коректор *М.О. Полтавець*