

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО- НАУКОВИЙ ІСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ  
Кафедра Промислове та цивільне будівництво  
(повна назва)

## Кваліфікаційна робота

рівень вищої освіти Магістр  
(рівень вищої освіти)

На тему: Розробка оптимальних моделей реалізації проєкту в термін заданий  
інвестором

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-пцб

Кравець Андрій Вікторович

спеціальність

192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

освітньо-професійна програма

Промислове і цивільне будівництво

Керівник доц., к.т.н. Полтавець М.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент проф., д.т.н. Арутюнян І.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя, 2023 року



6 Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Полтавець М.О.	<i>М.О.</i>	<i>М.О.</i>
Розділ 2	Полтавець М.О.	<i>М.О.</i>	<i>М.О.</i>
Розділ 3	Полтавець М.О.	<i>М.О.</i>	<i>М.О.</i>

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прізвище
1	Теоретико-практичні підходи управління проектами будівельних організацій	з 01.09 по 24.09.2023	
2	Дослідження методики моделювання завдань управління проектами	з 25.09 по 15.10.2023	
3	Розробка оптимальної моделі реалізації проекту в строк	з 16.10 по 28.11.2023	

Студент *А.В. Кравець* (підпис) А.В. Кравець (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) *М.О.* (підпис) М.О. Полтавець (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер *Н.О. Данкевич* (підпис) Данкевич Н.О. (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Кравець А.В. Розробка оптимальних моделей реалізації проекту в термін заданий інвестором.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник М.О. Полтавець, Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, 2022.

В роботі розглянуто цільова орієнтація на виконання проекту в термін заданий інвестором, що є викликом для менеджерів і проектних команд будівельних організацій. Представлено інструментарій оптимальної моделі реалізації проекту, яка враховуватиме різноманітні фактори, такі як складність завдання, обмеження ресурсів, зовнішнє середовище та потреби інвесторів. Виконано огляд основних підходів до розробки оптимальних моделей реалізації проекту в термін заданий інвестором, а також наводить приклади успішних практик у галузі будівництва.

**Ключові слова.** *Проект, часові обмеження, витрати, доходи, прибутковність, чистий дисконтований дохід, індекс рентабельності, коефіцієнт дисконтування.*

Кравець А.В., Полтавець М.О. Розробка оптимальних моделей реалізації проекту в термін заданий інвестором. *Збірник наукових праць III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»*. Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2023.

## ANNOTATION

Кравець А. Developing an Optimal Models of Project Implementation within the Deadline Set by the Investor.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree in higher education, specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor M.O. Poltavets, Engineering Educational and Scientific Institute of Zaporizhzhya National University, 2023.

The paper deals with the target orientation of project implementation within the deadline set by the investor, which is a challenge for managers and project teams of construction organizations. The toolkit of the optimal model of project implementation is presented, which will take into account various factors, such as the complexity of the task, resource limitations, the external environment and the needs of investors. An overview of the main approaches to the development of optimal models of project implementation within the deadline set by the investor is carried out, as well as examples of successful practices in the field of construction are given.

**Keywords.** *Project, sentinel limitations, charges, profits, profitability, net discounted profit, index of profitability, discount factor.*

Кравець А.В., Полтавець М.О. Розробка оптимальних моделей реалізації проекту в термін заданий інвестором. *Збірник наукових праць III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»*. Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2023.

## ЗМІСТ

	стр
ВСТУП	13
<b>РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ БУДІВЕЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ.....</b>	<b>16</b>
1.1 Сутність сучасних процесів управління проектами будівельних організацій .....	16
1.2 Сучасні модель управління проектами на ринку.....	26
1.3 Аналіз складних проектів у встановлений термін на основі потокових моделей з обмеженою пропускнуою здатністю.....	28
<b>РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ.....</b>	<b>43</b>
2.1 Дослідження складових системи планування проекту....	43
2.2 Моделювання задач планування і управління проектами в умовах невизначеності і ризику.....	53
<b>РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОЇ МОДЕЛІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТА В СТРОК .....</b>	<b>77</b>
3.1 Особливості оцінки впливу організаційно-технологічних умов на вироблення рішень в строк.....	77
3.2 Метод рішення задачі на основі пошуку потоку мінімальної вартості в мережах з обмеженою пропускнуою спроможністю.....	82
3.3 Особливості оцінки економічної ефективності рішення на основі аналізу прямої і двоїстої задач.....	86
Висновки.....	91
Список використаних джерел.....	94

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасний період розвитку економіки України, характеризується проведенням великої кількості різноманітних проектів підприємств і організацій у всіх галузях національного господарства. Однак, будь-який проект, реалізований у рамках методології управління проектами, не може існувати без управління ресурсами, витратами, часом та якістю, і всі перераховані компоненти повинні ув'язуватися в одне ціле враховуючи взаємодією з навколишнім середовищем. - досягнення поставленої мети.

Для такого ефективного управління і створюються спеціальні технології, результатом впровадження яких є інформаційно-управлінські системи.

Управління проектами — область знань з планування, організації та управління ресурсами з метою успішного досягнення цілей та завершення завдань проекту [22].

Проект — це обмежений часовими рамками процес, що має визначений початок та кінець, зазвичай обмежений датою, але також може обмежуватися фінансуванням або досягненням результатів, який здійснюється для реалізації унікальних цілей та завдань, зазвичай, щоб призвести до вигідних змін або створення доданої вартості.

Тимчасова природа проектів контрастує з бізнесом (процесами), які є повторюваною, постійною або частково постійною діяльністю з виробництва продуктів або послуг. На практиці, управління вищезазначеними двома системами часто різняться і таким чином вимагає розвитку окремих технічних навичок та використання розподіленого управління ними.

Головним завданням проектного управління є досягнення всіх цілей та виконання завдань проекту, одночасно виконуючи зобов'язання щодо наперед визначених обмежень проекту. Типовими обмеженнями є межі та зміст проекту, час, бюджет. Другорядним завданням, але більш амбіційним, є оптимізація, розподілення та інтеграція завдань, необхідних для досягнення наперед визначених цілей.

Тому метою роботи є розробка оптимальних моделей реалізації проекту враховуючи одне з важливих обмежень це час (строк).

Відштовхуючись від прислів'я «час це гроші» і витікає актуальність вибраної теми, тобто стає завдання по розробці оптимальної моделі управління проектами, і їх реалізації в строк заданий інвестором.

**Методи дослідження** це системотехнічні та економіко-математичні підходи, що сприяють вирішенню різноманітних складних завдань з удосконалення управління проектами та відображають сутність системи, тобто охоплюють всі наявні зони і сторони її функціонування, умови і обмеження.

**Об'єктом дослідження** це процеси управління проектами, їх порівняння і удосконалення.

**Предмет дослідження** оптимальні моделі реалізації проектів в строк заданий інвестором.

**Метою роботи** обґрунтування теоретичних положень, методологічних підходів і науково-практичних рекомендацій до моделювання оптимальних підходів реалізації проектів в строк заданий інвестором за допомогою комп'ютерних технологій.

**Задачі дослідження.** Досягнення поставленої мети зумовило необхідність вирішення наступних завдань:

- ✓ аналіз сучасних методів управління проектами будівельних організацій;
- ✓ обґрунтування ролі оцінки проектів для підприємства;
- ✓ визначення завдань вироблення рішень по управлінню складними проектами в строк, встановлений інвестором;
- ✓ розробка оптимальної моделі реалізації проектів в строк заданий інвестором.

**Наукова новизна** полягає у вирішенні актуальної задачі з управління проектами. Для досягнення бажаних результатів інвестор встановлює обмеження в часі, що дає важливість доцільно обґрунтувати реальність реалізації проекту з урахуванням складних нестійких ринкових відносин



України. Розробка оптимального моделювання процесу реалізації проекту в строк заданий інвестором дасть змогу зменшити інвестиції враховуючи ризик та невизначеність навколишнього нестабільного середовища, а також вплив росту курсу іноземної валюти. При цьому розглянуті підходи дозволять синтезувати та реалізувати стратегії в умовах мінливого середовища функціонування, що забезпечує підвищення ефективності діяльності будівельних організацій.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає в тому, що розроблена модель реалізації проекту в строк заданий інвестором, на основі економіко-математичних підходів, дозволяє досягти договірних відносин між інвестором та будівельними організаціями.

Результати запропонованої роботи можуть бути використані на всіх підприємствах і організаціях не залежно від виду їхньої діяльності.

Дана робота брала участь в науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів Запорізького національного університету.

# 1. ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ БУДІВЕЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ

## 1.1 Сутність сучасних процесів управління проектами будівельних організацій

Проект (від лат. *proiectus* - 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 сучасному розумінні поняття “проект” тлумачать так:

- це діяльність, захід, що передбачає виконання комплексу певних дій для досягнення певних цілей (одержання певних результатів); близькі за змістом терміни — “господарська діяльність”, “робота (комплекс робіт)”;
- це система організаційно-правових і розрахунково-фінансових документів, необхідних для виконання певних дій або таких, що описують ці дії.

Проект — це сукупність цілеспрямованих, послідовно орієнтованих у часі, одноразових, комплексних і нерегулярно повторюваних дій (заходів або робіт), орієнтованих на досягнення кінцевого результату в умовах обмеженості ресурсів і заданості термінів їх початку і завершення.

Формулювання понять, особливо мультискладних (яким є зокрема поняття проекту), як правило, не претендують на єдиність і повноту охоплення всіх ознак поняття, що вводиться. Тому наведемо ще декілька відомих визначень поняття "проект".

Тлумачний словник Вебстера: "Проект (від лат. *projectus* – кинутий вперед; англ. – *project*) – це будь-що, що замислюється чи планується, велике підприємство".

Звід знань з управління проектами, Project Management Institute, США:

"Проект – певне підприємство із встановленими цілями, досягнення яких визначає завершення проекту".

Англійська асоціація проект-менеджерів: "Проект – це окреме підприємство з визначеними цілями, що часто включають вимоги щодо часу, вартості та якості результатів, які повинні бути досягнуті".

DIN 69901, Німеччина: "Проект – це підприємство (намір), яке в значному ступені характеризується неповторністю умов та інших обмежень; розмежування від інших намірів; специфічна для проекту організація його реалізації".

Світовий Банк у власному "Оперативному керівництві" № 2.20: "Проект – комплекс взаємозв'язаних заходів, спрямованих на досягнення у проміжку визначеного періоду часу і при встановленому бюджеті поставлених завдань з чітко визначеними цілями...". Для банку цілями є: збільшити чи реконструювати виробничі можливості економічної і соціальної інфраструктури, підвищити їх збереження і використання; надати технічну допомогу у підготовці, реалізації та керівництві проектами, навчанні кадрів; представити фінансові кошти, послуги та сприяння при підготовці і реалізації проектів.

Мета проекту – доказовий результат і задані умови реалізації загального завдання проекту.

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).

У практичній роботі завжди доводиться стикатися з проблемою обґрунтування термінів будівництва об'єктів в заданий (встановлений) час. Будь-який проект 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.

Необхідність управління проектами, а саме необхідність координації використання людських та матеріальних ресурсів протягом життєвого циклу проекту за допомогою сучасних методів і техніки управління для досягнення відповідного рівня прибутків учасників проекту, високої якості продукції, пов'язана з масовим ростом масштабів і складності проектів, зростанням вимог до термінів їх здійснення, якості виконуваних робіт.

Початком розвитку управління проектами була розробка у 30-х роках ХХ століття радянськими вченими методів календарного планування з використанням циклограм. Одними з перших методів управління були розроблені на Заході в 50-х роках методи сіткового планування, в 80-х роках з'явилися перші комп'ютерні програми оптимізації процесу управління.

Будь-який проект передбачає перебіг певної кількості фаз (стадій, етапів). Для цього потрібно вміти управляти проектом. Нині важко назвати хоча б один великий проект, що здійснився поза межами методології управління проектами.

*Сутність управління проектом.* Згідно із законом Лермана будь-яку технічну проблему можна розв'язати, маючи час і гроші. Проте наслідок цього закону уточнює: "Вам ніколи не вистачатиме або часу, або грошей" [68]. Саме з такою метою було розроблено методику управління діяльністю на основі проекту.

Якщо спитати менеджера, яким є його основне завдання щодо виконання проекту, він відповість: "Забезпечити його виконання". Можлива й така відповідь: "Забезпечити виконання робіт у конкретний термін і в межах виділених коштів відповідно до технічного завдання". Керівник проекту пильно стежить за трьома чинниками: термінами, бюджетом і якістю робіт. Ці чинники вважаються основними обмеженнями проекту.

Управління проектами – це синтетична дисципліна, що об'єднує спеціальні та надпрофесійні знання. Спеціальні знання відбивають особливості тієї сфери діяльності, до якої належать проекти (будівельні, інноваційні, екологічні, дослідницькі, організаційні тощо). Це впливає з таких особливостей проектної діяльності: значного періоду від початку реалізації проекту до його завершення; великої кількості учасників; складного характеру проектної діяльності, що становить сукупність простіших, "елементарних" форм (технічної, наукової, комерційної, виробничої, будівельної, фінансової тощо).

З огляду на наведене пропонуємо таке визначення поняття *"управління проектом"*: це діяльність, спрямована на реалізацію проекту з максимально можливою ефективністю при заданих обмеженнях щодо часу, коштів (ресурсів) і якості кінцевих результатів.

Фахівці Інституту управління проектами (США) запропонували таке трактування терміна *"управління проектом"*: це мистецтво керувати й координувати людські та матеріальні ресурси протягом життєвого циклу

проекту, застосовувати системи сучасних методів і техніки управління та мінімізації ризиків для досягнення визначених у проекті результатів за складом і обсягами робіт, вартістю, часом, якістю та задоволенням учасників [42].

На сьогодні *управління проектами* – це визнана у всьому світі методологія вирішення організаційно-технічних проблем, це філософія керівництва проектами. Умови ринку стають більш вибагливими, підвищуються темпи змін, що відбуваються.

*Управління проектами – це процес управління командою, ресурсами проекту за допомогою спеціальних методів та прийомів з метою успішного досягнення поставленої мети.*

Важливим елементом управління проектами є своєчасна та точна підготовка проектних матеріалів.

*Проектні матеріали* – це сукупність документів, що містять опис і обґрунтування проекту.

Існує також багато інших елементів та характеристик, які відіграють важливу роль при управлінні проектами, а саме: початкові умови, обмеження та вимоги до проекту, види забезпечення проекту, методи та техніка управління проектами тощо.

За допомогою методів управління проектами визначають цілі проекту, обґрунтовують його й оцінюють життєздатність; виявляють структуру проекту (підцілі, завдання, роботи, які необхідно виконати); визначають необхідні обсяги та джерела фінансування; підбирають виконавців, зокрема за допомогою торгів і конкурсів; готують і укладають контракти; визначають терміни реалізації проекту; складають графік виконання робіт; розраховують необхідні ресурси, кошторис і бюджет проекту; планують і враховують ризики; забезпечують контроль за реалізацією проекту.

Для того щоб урахувати обмеження в часі, застосовують методи побудови й аналізу сіткових та календарних графіків робіт. Обмеженнями щодо коштів управляють за допомогою методів формування фінансового плану (бюджету) проекту та контролю за ним. Для виконання та ресурсного забезпечення робіт

застосовують спеціальні методи управління людськими й матеріальними ресурсами, наприклад матрицю відповідальності, діаграми завантаження.

Керівники проектів відповідають за терміни, кошторис і якість результату робіт. Відповідно до узвичаєного принципу управління проектами вважається, що ефективне управління термінами робіт – ключ до успіху за всіма трьома показниками. Обмеження проекту в часі найкритичніші. Якщо терміни виконання проекту зриваються, імовірними наслідками є перевитрата коштів і недостатній рівень якості робіт. Тому в більшості методів управління проектами основний акцент робиться на календарному плануванні робіт і контролі за дотриманням календарного графіка. З трьох основних обмежень проекту найважче контролювати обмеження за якісними результатами проекту, оскільки завдання часто важко формулювати й контролювати. Для розв'язання зазначених проблем застосовують методи управління якістю робіт.

У процесі управління проектами використовують різноманітні системи управління проектами, але найпоширеніші так звана основна та розширеного управління.

*Основна система.* Менеджером проекту є представник замовника, будь-яка фірма-учасник. Менеджер проекту не несе фінансової відповідальності за прийняті рішення. Він відповідає за координацію і управління розробкою та реалізацією проекту, у контрактні відносини з іншими учасниками проекту (крім замовника) не вступає. Перевага основної системи полягає в об'єктивності менеджера, недолік – у тому, що за проект відповідає замовник.

*Система розширеного управління.* Менеджер проекту несе відповідальність за проект у межах фіксованої (кошторисної) ціни. Він забезпечує управління й координацію процесів проекту за угодами між ним і учасниками в межах фіксованої ціни. Менеджером проекту може бути підрядна чи консалтингова фірма (в окремих випадках – інжинірингова). Менеджер управляє проектом, координує процеси постачання й роботи з інжинірингу. Відповідає за проект підрядчик. Різновидом системи розширеного управління є

система "під ключ", коли менеджером проекту є проектно-будівельна фірма, з якою замовник укладає контракт "під ключ" з оголошеною вартістю проекту.

Необхідність управління проектами, а саме необхідність координації використання людських та матеріальних ресурсів протягом життєвого циклу проекту за допомогою сучасних методів і техніки управління для досягнення відповідного рівня прибутків учасників проекту, високої якості продукції, пов'язана з масовим зростанням масштабів і складності проектів, вимог до термінів їх здійснення, якості виконуваних робіт.

Початком розвитку управління проектами було створення у 30-х роках ХХ століття радянськими вченими розробки методів календарного планування з використанням циклограм. Одними з перших методів управління були розроблені на Заході в 50-х роках методи сіткового планування, в 80-х роках появились перші комп'ютерні програми оптимізації процесу управління.

На сьогодні управління проектами – це визнана у всьому світі методологія вирішення організаційно-технічних проблем, це філософія керівництва проектами. Умови ринку стають більш вибагливими, підвищуються темпи змін, що відбуваються тощо.

Управління проектами – це процес управління командою, ресурсами проекту за допомогою спеціальних методів та прийомів з метою успішного здійснення поставленої цілі.

Управління проектами в будівельній галузі є складним завданням, оскільки вимагає координації різних сторін, ресурсів та процесів для успішної реалізації проектів будь-якої складності. Сучасні процеси управління проектами в будівельних організаціях зосереджені на досягненні високої якості, ефективності та забезпеченні вчасної поставки проектів. У цьому науковому тексті ми розглянемо сутність сучасних процесів управління проектами в будівельних організаціях та їх ключові аспекти.

Інтегрований підхід до управління проектами



Сучасні процеси управління проектами в будівельній галузі базуються на інтегрованому підході, що охоплює всі аспекти проекту від початкового планування до завершення. Інтегрований підхід передбачає взаємодію між різними сторонами, такими як замовник, підрядник, проектний бюро, підрядні організації та інші зацікавлені сторони. Це дозволяє забезпечити високий рівень співпраці, координації та комунікації між всіма учасниками проекту для досягнення спільних цілей.

#### Використання сучасних інструментів управління проектами

Сучасні будівельні організації активно використовують сучасні інструменти управління проектами, такі як програмне забезпечення для планування та контролю проектів, системи віртуальної реальності для візуалізації проектів, системи керування документами та інші. Ці інструменти допомагають встановити ефективну систему моніторингу, контролю та звітності за ходом проекту, сприяють виявленню та усуненню можливих проблем та ризиків, а також покращують комунікацію та співпрацю між учасниками проекту.

#### Ризик-орієнтований підхід

Сучасні процеси управління проектами в будівельних організаціях враховують значення управління ризиками. Будівельні проекти мають високий рівень складності та можуть зустрічати різноманітні ризики, які можуть впливати на тривалість, вартість та якість проекту. Ризик-орієнтований підхід передбачає ідентифікацію, оцінку та управління ризиками на ранніх етапах проекту. Це дозволяє забезпечити попереднє планування та прийняття заходів для зменшення негативного впливу ризиків на проект.

#### Стратегічне управління проектами

Сучасні будівельні організації все більше розуміють важливість стратегічного управління проектами. Вони розробляють довгострокові стратегії, які визначають основні напрямки розвитку, цілі та пріоритети проектів. Це дозволяє підприємствам зосередитись на ключових проектах, використовувати ресурси ефективно та досягати стратегічних цілей.

Важливим елементом є оточення проекту, оскільки важливо визначити середовище, в якому виникає, існує і завершується проект. Оточення проекту – це чинники впливу на його підготовку та реалізацію. Їх можна поділити на внутрішні й зовнішні.

До зовнішніх відносяться політичні, економічні, суспільні, правові, науково-технічні, культурні та природні.

До політичних чинників належать: політична стабільність, підтримка проекту державними установами, міжнаціональні взаємини, рівень злочинності, міждержавні стосунки тощо. До правових - стабільність законодавства, дотримання прав людини, прав власності, прав підприємництва. До економічних – структура внутрішнього валового продукту, умови регулювання цін, рівень інфляції, стабільність національної валюти, розвиненість банківської системи, стан ринків, рівень розвитку підприємництва і т.д. Важливим при визначенні оточення проектів є рівень розвитку фундаментальних та прикладних наук, рівень інформаційних та промислових технологій, рівень розвитку енергетики, транспорту, зв'язку, комунікацій тощо.

До внутрішніх належать чинники, пов'язані з організацією проекту.

Організація проекту є розподілом прав, відповідальності та обов'язків між учасниками проекту. Учасниками управління проектами є юридичні або/та фізичні особи, які зобов'язанні виконати деякі дії, передбачені проектом, та інтереси яких будуть задіяні при реалізації проекту.

В число учасників можуть входити інвестори, банки, підрядчики, постачальники, гуртові покупці продукції, лізингодавці та інші фізичні чи юридичні особи. Учасником проекту може бути також держава (рис.1.1.)



Рисунок 1.1 - Учасники проекту

Автором головної ідеї проекту, його попереднього обґрунтування є ініціатор проекту. Ділова ініціатива по здійсненню проекту, як правило, належить замовнику. Замовник – це зацікавлена сторона в здійсненні проекту, майбутній власник та користувач результатів проекту. Він визначає основні вимоги та масштаби проекту, забезпечує фінансування проекту за рахунок власних коштів або коштів інвесторів, укладає угоди з виконавцями проекту, несе відповідальність по цих угодах та в цілому за проект перед суспільством та законом, керує процесом взаємодії між учасниками проекту.

Якщо інвестор, тобто та сторона проекту, яка забезпечує його фінансування, не є замовником, то вкладення коштів у проект можуть здійснювати банки, інвестиційні фонди та інші кредитні організації. Тобто вони вступають у договірні відносини із замовником, контролюють виконання контрактів, здійснюють розрахунки з іншими сторонами по мірі виконання робіт. Ціллю інвесторів є максимізація прибутку на свої інвестиції від реалізації проекту. Вони є повноцінними партнерами проекту й власниками всього майна, яке придбане за рахунок інвестицій до того часу,

поки не будуть виплачені всі кошти по контракту (кредитному договору) із замовником.

Свої повноваження по керівництву роботами зі здійснення проекту, а саме планування, контролю та координації робіт всіх учасників проекту, замовник та інвестор делегують керівнику проекту. Склад функцій та повноважень керівника проекту визначається контрактом із замовником.

Перед керівником та його командою ставиться завдання керівництва та координації робіт протягом життєвого циклу проекту, до досягнення поставлених цілей та результатів при дотриманні встановлених термінів, бюджету та якості.

Команда проекту - це специфічна організаційна структура, яку очолює керівник проекту. Вона створюється на період здійснення проекту і завданням її є здійснення функцій управління проектом.

Склад команди залежить від характеристик проекту, а саме від його масштабу, складності тощо. Членами команди є: інженер проекту, керівник контрактів, контролер проекту, бухгалтер проекту, керівник відділу матеріально-технічного забезпечення, керівник робіт із проектування, керівник виробництвом (будівництвом тощо), адміністративний помічник.

Крім того, учасниками проекту є: контрактор, або генеральний контрактор (сторона, яка бере на себе відповідальність за виконання робіт по контракту), субконтрактор (вступає в договірні відносини з контрактором чи субконтрактором більш високого рівня), координатор робіт по експлуатації, проектувальник (юридична особа, що виконує за контрактом проектно-дослідницькі роботи в межах проекту), генеральний підрядчик (юридична особа, чия пропозиція прийнята замовником, несе відповідальність за виконання робіт відповідно до умов контракту), ліцензори (організації, що виділяють ліцензії на право володіння земельною ділянкою, проведення торгів, виконання окремих робіт тощо), постачальники, органи влади, власник земельної ділянки, виробник кінцевої продукції проекту, споживачі продукції. На здійснення проекту можуть впливати й інші сторони з

оточення проекту, які можуть бути віднесені до учасників проекту, це: конкуренти основних учасників проекту, спонсори проекту, різні консалтингові, юридичні, посередницькі організації, що залучені в процес здійснення проекту.

Важливим елементом управління проектами є своєчасна та точна підготовка проектних матеріалів.

Проектні матеріали – це сукупність документів, що містять опис і обґрунтування проекту.

Існує також багато й інших елементів та характеристик, які відіграють важливу роль при управлінні проектами, а саме початкові умови, обмеження та вимоги до проекту, види забезпечення проекту, методи та техніка управління проектами тощо.

Сучасні процеси управління проектами в будівельних організаціях зорієнтовані на досягнення високої якості, ефективності та забезпечення вчасної поставки проектів. Інтегрований підхід, використання сучасних інструментів, ризик-орієнтований підхід та стратегічне управління є ключовими аспектами сучасного управління проектами в будівельних організаціях. Ефективне використання цих процесів допомагає забезпечити успішну реалізацію проектів і задоволення потреб замовників.

## **1.2 Сучасні модель управління проектами на ринку**

### **Сучасні моделі управління проектами на ринку**

У сучасному світі, де бізнес-середовище швидко змінюється і стає все більш конкурентним, ефективне управління проектами стає ключовим фактором успіху підприємств. Стандартні методи та підходи до управління проектами вже не задовольняють потреби сучасного ринку, тому компанії шукають нові моделі, які дозволять їм бути гнучкими, швидкими і

результативними. У цьому науковому тексті ми розглянемо деякі сучасні моделі управління проектами, які успішно використовуються на ринку.

### Agile-методологія

Agile-методологія стала однією з найпопулярніших моделей управління проектами у сучасному світі. Ця модель базується на принципах гнучкого розвитку, колаборації і ітеративного планування. Замість жорстких та довгострокових планів, Agile-підхід зосереджений на швидкому впровадженні вироблення та постійному зворотному зв'язку. Команди працюють у коротких спринтах, де вони визначають пріоритети та фокусуються на найважливіших завданнях. Agile-методологія дозволяє підприємствам швидко адаптуватися до змінних умов ринку і забезпечувати високу якість продукту.

### Lean-підхід

Lean-підхід є іншою сучасною моделлю управління проектами, яка базується на принципах оптимізації та усунення зайвого. Головна ідея Lean-підходу полягає в максимальній ефективності використання ресурсів та мінімізації витрат. Ця модель спрямована на виявлення та усунення будь-яких видів втрат, таких як зайві запаси, некоректні процеси та затримки. Lean-підхід дозволяє підприємствам покращити продуктивність, якість та швидкість виконання проектів.

### Hybrid-підхід

Хоча Agile-методологія та Lean-підхід є дуже ефективними моделями управління проектами, деякі компанії використовують гібридні підходи, комбінуючи різні методології в залежності від потреб проекту. Hybrid-підхід дає можливість використовувати найкращі практики з різних моделей та адаптувати їх до конкретного контексту. Наприклад, команда може використовувати Agile-підхід для швидкого розроблення продукту, а Lean-підхід для оптимізації процесів та усунення зайвого.

Управління проектами є важливою складовою успіху будь-якого підприємства на сучасному ринку. Сучасні моделі управління проектами, такі як Agile-методологія, Lean-підхід та гібридні підходи, надають компаніям

можливість бути гнучкими, ефективними та адаптивними до змін. Вибір підходу до управління проектами залежить від конкретних потреб, характеру проекту та внутрішньої культури підприємства.

За останні роки теорія і практика управління проектами збагатилися всілякими методами кількісної оцінки впливу організаційних і виробничих факторів на результати діяльності всіх учасників інвестиційного проекту, що дозволяють знайти близькі до оптимальних рішення.

Найбільш часто використовуються математичні методи, в основі яких лежать моделі дослідження операцій: кореляційно-регресійний аналіз, математичне моделювання та програмування, метод експертних оцінок і т.д. Математичні моделі дозволяють знайти різні істотні показники ефективності проекту. Для управління одним проектом можуть бути використані кілька різних інформаційних і оптимізаційних моделей.

Вид і структура моделей визначаються завданнями управління проектом і наявністю достовірної інформації для отримання надійних рішень.

Залежно від способу відображення причинно-наслідкових зв'язків і вимог практики управління проектом всі математичні моделі можна розділити на детерміновані і стохастичні.

Моделі, в яких значення змінних передбачаються явно заданими при жорстких зв'язках і умовно достовірними, прийнято називати *детермінованими*. Серед них за ступенем математичної абстракції або сглаженности значень змінних можна виділити два типи економіко-математичних структур: складні і спрощені. Складні економіко-математичні моделі дають більш точні результати, але вимагають великого обсягу вихідної інформації та спеціального програмного забезпечення. Обмеженість часу, відведеного на підготовку і прийняття рішень взагалі і в системах управління проектом особливо, перешкоджає широкому застосуванню цих моделей. Тому в практиці управління проектами найчастіше використовуються досить прості моделі.

Особливе місце займають мережеві моделі (графіки), які є *графоаналітичними*, що дозволяє в наочній формі описувати весь виробничий процес: від зародження ідеї проекту до його реалізації.

Як правило, реалізація детермінованого підходу до моделювання аналізу і прийняття рішень передбачає, з одного боку, отримання однозначного рішення, а з іншого - уточнення цих рішень шляхом введення елемента випадковості в термінах теорії ймовірностей. Останнє дає можливість оцінити наслідки непередбачених збоїв, наприклад зрив термінів проектування або будівництва будівель та споруд, намічених затвердженим раніше планом. При цьому математичне моделювання детермінованих процесів стає окремим випадком застосування стохастичних, імовірнісних підходів.

На жаль, дуже часто менеджери схильні використовувати лише ті методи і моделі, які їм знайомі, а не ті, яких вимагає ситуація, що склалася. При цьому моделі, засновані на переробці великого обсягу інформації, рідко вказані користувачем.

Однією з причин, що обмежують застосування імовірнісного підходу в управлінні проектами, є підвищена в порівнянні з детермінованим підходом вартість впровадження методу, в тому числі витрати на збір і обробку інформації

Модель управління проектом включає такі складові:

- цілі управління проектами, зокрема стосовно таких основних його характеристик, як час, якість, вартість;
- робоча структура проекту (WBS) — ієрархічна структура, що побудована з метою визначення й логічного розподілу всіх робіт з виконання проекту і подана у графічному вигляді; [4, с.230]
- організаційна структура проекту (OBS). Всі організаційні структури поділяють на дві великі групи — зовнішні і внутрішні;
- матриця відповідальності (двоспрямована структура), що створюється на основі робочої структури в поєднанні з організаційною структурою проекту і відповідає на запитання: який підрозділ (особа) виконує певні роботи; [6, с.425]



- календарне планування, яке розпочинають після визначення: що потрібно роботи і хто буде робити. При цьому широко використовують сітьові графіки (графіки Ганта);

- планування ресурсів, що здійснюється, зокрема, за допомогою побудови і згладжування гістограм. У проектному менеджменті особливу увагу звертають на планування людських ресурсів;

- бюджетне планування.

Моніторинг ходу здійснення проекту, оцінка рівня виконання основних параметрів та прогноз головних наслідків здійснюють за допомогою методу скоригованого бюджету та побудови S-подібних кривих.

Встановлення цілей проекту передбачає дотримання таких правил: [5, с.95]

- результат проекту повинен бути чітко окреслений (обсяг робіт);
- проект має здійснюватися у визначеному зовнішньому середовищі (учасники);
- повинні бути встановлені терміни проекту (строки);
- бюджет проекту не повинен перевищувати заданої величини (затрати);
- продукт має задовольняти визначеним стандартам (якість);
- необхідно мати справу з надійними, гнучкими і стабільними постачальниками і підрядчиками (ресурси).

### **1.3 Аналіз складних проектів у встановлений термін на основі поточкових моделей з обмеженою пропускною здатністю**

Будівельне виробництво характеризується високим рівнем розподілу праці, складністю виконуваних проектів, 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;
- 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. 1.2.

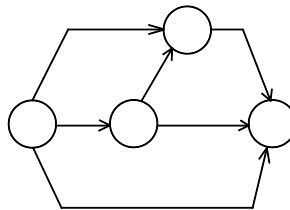


Рисунок 1.2 - Графічне відображення будівельно-монтажних робіт у вигляді сітьової моделі

**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 проектів 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 [5, 21]:

- 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;
- 6) 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 задачі за ім'ям вчених – задача Форда-Фалкерсона [34].

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 сітьовій 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:

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

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

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

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  $T_{зад} \geq T^d$ , 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:

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

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

Враховуючи, що в формулі (1.8)

$$\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} D_{ij} \rightarrow \text{const}, \quad (1.9)$$

замінімо цільову функцію вихідної задачі на іншу функцію:

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

яка приймала б максимальне значення та відповідає умовам:

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

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

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

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

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 (дивись п. 1.2).

У нашому випадку пропонується прогресивний підхід, заснований на теорії двоїстості лінійного програмування в умовах доповнюючої нежорсткості. Ці властивості відображені у теоремах двоїстості [2, 3].

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  $\max F(x) = \min Z(f)$  або для нашої задачі  $\max L(x) = \min Z(f)$ .

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 одної 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:

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

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

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

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

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

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

(1.21)

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

$$\left. \begin{aligned} 1. \gamma_{ij} > 0; \delta_{ij} = 0; 0 \leq f_{ij} \leq c_{ij}; x_{ij} = D_{ij} \\ 2. \gamma_{ij} = 0, \delta_{ij} = 0, f_{ij} = c_{ij}, d_{ij} \leq x_{ij} \leq D_{ij} \\ 3. \gamma_{ij} = 0, \delta_{ij} > 0, f_{ij} > c_{ij}, d_{ij} = x_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (1.23)$$

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::

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

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

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_{ij} &= T_i - T_j + x_{ij} \\ x_{ij} &= \min(D_{ij}, T_j - T_i) \end{aligned} \right\} - \text{невідомі змінні}$$

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

### Алгоритм вирішення задачі

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. 1.3).

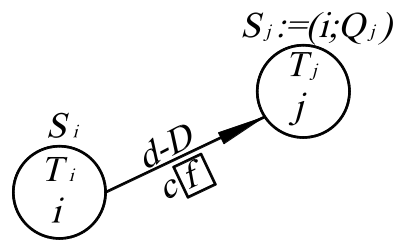


Рисунок 1.3 - Елемент сітьової моделі

$i, j$  – 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  $N_{ij}^D$ ;

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

$c_{ij}$  - 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:

$$S_j := (i; Q_j) \quad (1.28)$$

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. 1.3).

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  $T_I = 0$ ,  $T_j = \max (T_j + D_{ij})$  (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  $i$ :

$$Q_i = Q_j; \quad (1.30)$$

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:

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

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.

В результаті застосування процедури кодування кінцева  $n$ -а подія (остання подія в сітьовій 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.

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

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  $\Delta_2$

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= \min | -a' |, \\ \Delta_2 &= \min | -a'' |; \end{aligned} \right\} \quad (1.34)$$

- 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:

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

## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

### 2.1 Дослідження складових системи планування проекту

Суть планування полягає в розробці та обґрунтуванні цілей, визначені найкращих методів і способів їх досягнення при ефективному використанні всіх видів ресурсів, необхідних для виконання поставлених завдань і встановленні їх взаємодії.

*Сам процес планування проходить чотири етапи:*

- Ø розробку загальних цілей;
- Ø визначення конкретних цілей на даний період із послідуною їх деталізацією;
- Ø визначення шляхів і способів досягнення цілей;
- Ø контроль за процесом досягнення поставлених цілей шляхом співставлення планових показників із фактичними та коригування цілей.

В процесі планування необхідно відповісти на такі питання:

- Ø *що повинно бути зроблено і для чого?*
- Ø *коли це буде зроблено і хто буде робити?*
- Ø *де це буде зроблено і що для цього необхідно?*

Вирішення цих питань є *функцією планування*, яка є основою для прийняття рішень. Це управлінська діяльність, що передбачає розробку цілей і завдань управління виробництвом, а також визначає шляхи реалізації планів для досягнення поставлених цілей.

Розробка планів по проекту охоплює всі етапи його життєвого циклу. Починається з участі проект-менеджера в процесі розробки концепції, вибору стратегічних цілей, включаючи контрактні пропозиції, продовжується укладанням контрактів та закінчується лише при завершенні проекту.



*Процес планування проектів – це процес, який передбачає визначення цілей і параметрів взаємодії між роботами та учасниками проекту, розподіл ресурсів та вибір і прийняття організаційних, економічних, технологічних рішень для досягнення поставлених цілей проекту.*

На етапі планування проекту визначаються всі необхідні параметри реалізації проекту, а саме: тривалість робіт, потреба в трудових, матеріально-технічних та фінансових ресурсах, терміни постачання всіх видів ресурсів, терміни та обсяги залучення проектних, будівельних та інших організацій.

*Загальний процес планування проектів включає наступні етапи:*

Ø визначення цілей, задач проекту, розрахунок техніко-економічних показників для обґрунтування проекту, визначення потреби в ресурсах, тривалості та специфікації виконуваних робіт, етапів проекту;

Ø структурування проекту;

Ø прийняття організаційно-технологічного рішення;

Ø розробку сіткових моделей робіт;

Ø оцінку реалізуємості проекту, оптимізацію по термінах і критеріях якості використання ресурсів та інших критеріях;

Ø підготовка необхідних документів до пакета планів;

Ø затвердження планів і бюджету;

Ø доведення планових завдань до виконавців;

Ø підготовку та затвердження звітної документації для контролю планів.

Взаємозв'язок між процесами планування представлено на рис. 2.1.

Основними процесами планування є:

1. *Планування цілей* – це процес розробки документу, в якому формулюються цілі проекту (констатація цілей), які слугують основою для наступних проектних рішень, включаючи визначення критеріїв успішності виконання проекту;

2. *Декомпозиція цілей* означає поділ основних результатів проекту, визначених у констатації цілей, на окремі компоненти для того, щоб підвищити точність вартісних, часових та ресурсних оцінок, визначити основу для вимірювання і управління виконанням та забезпечити чітку систему відповідальності;

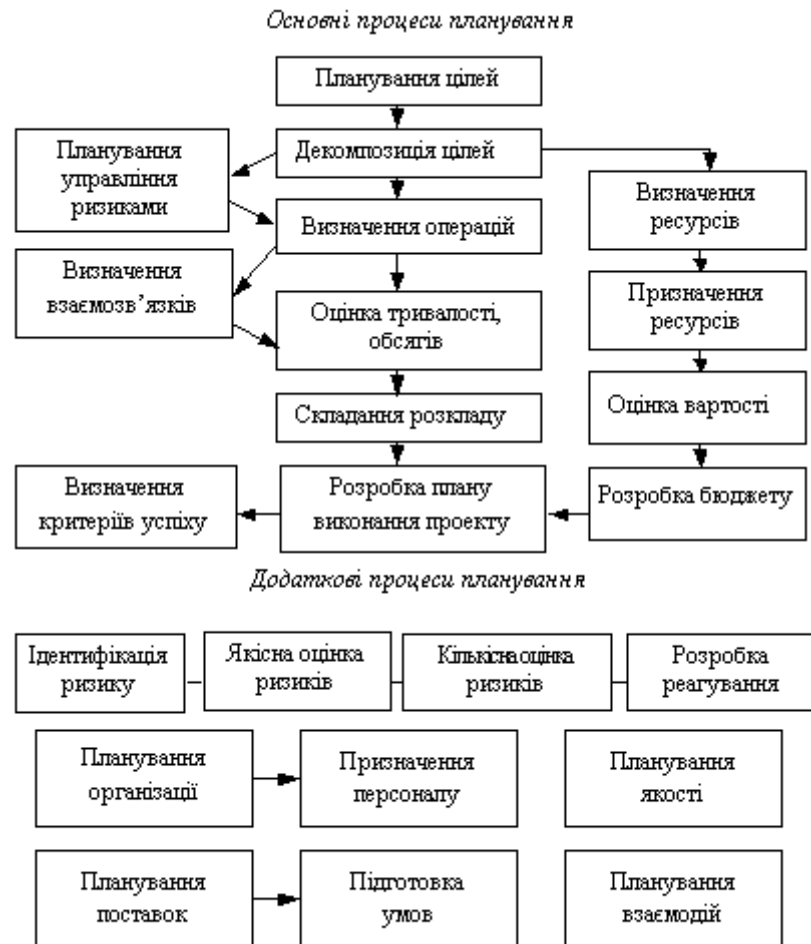


Рисунок 2.1 - Основні етапи планування проектів

3. *Визначення операцій* – це процес ідентифікації та документування операцій, які слід виконати для отримання результатів;

4. *Визначення взаємозв'язків операцій (робіт, задач)* - це процес визначення та документування взаємозв'язків операцій проекту. Як правило, відображають такі типи взаємозв'язків операцій: а) “фініш-старт” – попередня операція повинна завершитись до початку наступної; б) “фініш-фініш” – попередня операція повинна завершитись до завершення наступної; в) “старт-

старт” – попередня операція повинна розпочатись до початку наступної; г) “старт-фініш” – попередня операція повинна розпочатись до завершення наступної;

5. *Оцінка тривалості операції* – це визначення робочого часу, що потрібний для її виконання. Тривалість одних операцій визначається можливостями ресурсів, інших – тільки календарним часом, для третіх – існують додаткові обмеження (наприклад, ремонт-покриття міських вулиць потрібно проводити в нічний час);

6. *Планування ресурсів* – означає визначення того, які ресурси (люди, обладнання, матеріали ) та в якій кількості будуть використані в роботах проекту. Результатом планування ресурсів є перелік типів та кількості ресурсів, необхідних для виконання проекту;

7. *Складання розкладу виконання проекту* визначення термінів початку та завершення всіх операцій проекту. Найбільш відомими методами розрахунку розкладу виконання проекту є: а) метод критичного шляху (МКШ) - визначаються ранні та пізні дати початку та завершення операцій проекту, а також і резерви – проміжки часу, на які можна перенести виконання операцій без порушення обмежень і дати завершення проекту; б) PERT (Program Evaluation and Review Technique) – використовує послідовну сіткову логіку та середньозважені оцінки тривалості операцій для розрахунку тривалості проекту. Складання розкладу виконання проекту здійснюється, в основному, за допомогою програм управління проектами. Як правило, кращим вважається той розклад, що дозволяє завершити проект швидше;

8. *Оцінка вартості* – включає оцінку вартості ресурсів та вартості операцій. Вартість ресурсів може визначатись по - різному. Для відновлення ресурсів задається вартість часу їх роботи, для матеріалів – вартість одиниці. Для розрахунку вартості операцій через вартість часу роботи ресурсів необхідно знати тривалість роботи ресурсів на цій операції. Для робіт, що виконуються по контрактах, задається не вартість ресурсу, а вартість призначення, яка визначається контрактом. Вартості операцій можуть

визначатись контрактом, або ж включати такі складові як: стала складова вартості операцій, стала складова вартості призначень ресурсів на операцію, вартість робіт по відновлюваних ресурсах, вартість матеріалів, як призначених на операцію так і тих, що витрачаються відновлювальними ресурсами. Оцінка проводиться в тій валюті, яка використовується при розрахунку витрат;

9. *Розробка бюджету* – це розподілена в часі вартість проекту та його елементів. Бюджет проекту розраховується підсумовуванням оцінок вартостей по періодах. В деяких проектах використовується відразу кілька бюджетів для різних складових (для витрат, грошових потоків, різних видів робіт і т.д.);

10. *План управління якістю* – повинен містити інформацію щодо проведення командою проекту політики якості ( по термінології ISO 9000 повинна бути описана система якості проекту, тобто організаційна структура, розподіл відповідальності, процедури, процеси та ресурси, необхідні для управління якістю). План управління якістю входить у загальний план проекту та описує технологію управління якістю, підтвердження якості та покращення якості проекту;

11. *Планування організації* – включає ідентифікацію, документування та призначення проектних ролей (хто що робить), відповідальність (хто і що вирішує) та відносини звітності. План проекту повинен включати і план управління персоналом. Він визначає, коли та які спеціалісти будуть включені в команду проекту і коли будуть виведені.

В процесі виконання проекту ці процеси багатократно повторюються. Зміни можуть бути і в цілях проекту, його бюджеті, ресурсах і т.д. Крім того, планування проекту не є точною наукою, оскільки різні команди проекту можуть розробити різні плани для одного і того ж проекту. Деякі із процесів планування мають чіткі логічні та інформаційні взаємозв'язки і виконуються в одному порядку практично у всіх проектах. Наприклад, спочатку слід визначити, із яких робіт складається проект, а потім розраховувати терміни виконання та вартість проекту. Крім перерахованих вище основних процесів планування існує цілий ряд допоміжних процесів, зокрема:

Ø *призначення персоналу* – призначення людських ресурсів для виконання робіт проекту;

Ø *підготовка умов* - розробка вимог до постачань та визначення потенційних постачальників;

Ø *планування поставок* - визначення того, що як і коли повинно бути доставлено;

Ø *планування взаємодії* – визначення потоків інформації та способів взаємодії, необхідних для учасників проекту;

Ø *ідентифікація ризику* - визначення та документування подій ризику, які можуть впливати на проект;

Ø *якісна оцінка ризиків* - розташування пріоритетів ризиків за ступенем впливу на результати проекту;

Ø *кількісна оцінка ризиків* – оцінка ймовірності настання подій ризику, їх характеристик і впливу на проект;

Ø *розробка реагування* – визначення необхідних дій для запобігання ризикам та реакції на загрожуючі події.

Взаємозв'язок між допоміжними процесами залежить так само, як і їх наявність від природи проекту.

|| *Розробка плану проекту – це оформлення результатів процесів планування в єдиний структурований документ.*

Розробка плану проекту – це процес, який майже завжди повторюється декілька разів. Це формальний та затверджений документ, який використовується для управління виконанням проекту. Він повинен бути розповсюджений серед учасників проекту відповідно до плану взаємодії. Не можна ототожнювати план проекту та базовий план. **План проекту** – це документ або набір документів, який змінюється при надходженні додаткової інформації, в той час як базовий план слугує для контролю виконання та змінюється тільки в результаті затвердження запитів на зміни.

*План проекту використовується для:*

- Ø управління виконанням проекту;
- Ø документування пропозицій та припущень, зроблених при плануванні;
- Ø документування прийнятих рішень по вибору варіантів;
- Ø регламентування взаємодії учасників проекту;
- Ø документування вимог до звітів по змісту, обсягу та термінах;
- Ø створення бази для оцінки й контролю ходу виконання проекту.

*План проекту може мати різний зміст, але, як правило, він включає наступні розділи:*

1. Підстава для виконання проекту;
2. Описання підходу до управління проектом;
3. Констатація цілей;
4. Ієрархічні структури робіт (ICP) до того рівня, на якому здійснюється облік та контроль;
5. Оцінка вартості, планові дати початку та завершення робіт, розподіл відповідальності до рівня ICP, на якому здійснюється контроль;
6. Розподіл вартості проекту за часом;
7. Методи оцінки виконання за термінами та вартістю робіт;
8. Основні контрольні події та їх планові дати;
9. Основний та необхідний персонал;
10. Плани управління різними складовими проекту (цілями, ресурсами, контрактами, ризиками, взаємодіями, персоналом і т.д.);
11. Основні ризики (включаючи обмеження та припущення) та планова реакція при виникненні кожного з подій ризику;
12. Відкриті питання та відкладені рішення.

Вимоги до різних проектів можуть передбачати включення й інших пунктів. Наприклад, план великого проекту повинен включати організаційну структуру проекту.

Додаткова інформація до плану проекту включає:

- Ø процеси планування, які не включені в план проекту;

Ø обмеження та припущення, зроблені в процесі розробки плану проекту;

Ø технічну документацію (вимоги, специфікації, проектну документацію);

Ø стандарти та нормативи, що використовуються.

Наприклад, план проекту може мати такий вигляд. В одному з районів міста Харкова, недалеко від центральної частини міста, на території 3,2 га, де раніше знаходилось виробниче підприємство муніципальної власності, планується звести житловий комплекс і бізнес-центр. Тендер, оголошений міською владою з метою підбору інвестора виграла компанія "ABC", що буде оператором даного проекту. Компанія запропонувала наступний план забудови:

Збережений на території виробничий будинок площею 2400 кв. м. пропонується відремонтувати й здати в оренду великій компанії, що розмістить там екологічно чисте швейне виробництво. Також планується побудувати:

Ø **Корпус А.** Житловий будинок із квартирами поліпшеного планування на 120 квартир загальною площею 10900 кв. м. Внизу буде знаходитися нежитлова площа під магазини й пункти побутового обслуговування (900 кв. м.).

Ø **Корпус Б.** Житловий будинок на 190 квартир загальною площею 10900 кв.м. Складається з двох одно-під'їзних 17 поверхових веж (у проекті — корпус Б1 і Б2). Внизу буде знаходитися нежитлова площа, під магазини й пункти побутового обслуговування (900 кв. м.).

Ø **Корпус В.** Бізнес-центр. Офісний будинок із загальною площею приміщень для продажу й здачі в оренду 7000 кв. м.

Ø **Корпус Г.** Адміністративний будинок, загальна корисна площа якого 7000 кв.м .

### **План проекту**

В інвестиційному плані представлений план організації будівництва відповідно до попереднього кошторису. План включає наступні етапи:

**1. Підготовка робочого проекту і додатків.** Здійснюється проектною організацією, що підготувала попередній кошторис. Етап триває 3 місяці, включаючи затвердження проекту в архітектурно-плановому управлінні одержання всіх інших необхідних дозволів. Оплата послуг організацій розподілена в такий спосіб: на початку етапу — 25% вартості, на початку 2-го місяця — 25% вартості, наприкінці етапу — 50% вартості. Задано лінійну амортизацію даного нематеріального активу з нормою 5%.

**2. Переговори про оренду землі.** За умовами, запропонованими міською владою, після одержання права на будівництво об'єкта, компанія, що виграла тендер бере на себе деякі витрати по розвитку міської інфраструктури. Оскільки ці витрати не є витратами на придбання активів, вони відображені в статті "Інші виплати" і віднесені в проекті балансу на статтю "Витрати резервів".

**3. Інженерне забезпечення на початку будівництва.** Тривалість етапу 6 місяців. Виплати розподілені в такий спосіб: На початку 1-го місяця — 12 % вартості, на початку 3-го місяця — 24 % вартості, наприкінці етапу — сума, що залишилася. Тип активу – передоплачені витрати, списання вартості активу задано на одиницю продукції - кв. м. площі житлових корпусів А і Б.

**4. Будівництво корпусів.** По кожному корпусу, будівельні роботи розділені на основні етапи:

- Ø будівництво фундаменту;
- Ø зведення стін;
- Ø монтажні роботи;
- Ø прокладка комунікацій;
- Ø опоряджувальні роботи.

Корпуси, по яких намічений продаж площ, визначені по типу активу як передоплачені витрати зі списанням вартості на кв.м. площі при продажі, а на корпуси, що залишаються на балансі компанії (корпус Д і корпус Г) визначена лінійна амортизація (норма амортизації 2%). Тривалість етапів і терміни закінчення будівництва визначені відповідно до попереднього плану організації



будівництва, що запропонований генеральним підрядчиком на будівельні роботи. При розподілі етапів у часі й побудові логічних зв'язків між ними враховані також можливості організацій - підрядчиків по виділенню людських ресурсів і будівельної техніки на об'єкти.

**5. Інженерне забезпечення наприкінці будівництва.** Тривалість етапу — 6 місяців. Графік виплат — щомісяця рівними частками. Тип активу — також передоплачені витрати зі списанням на одиницю продукції. Для забезпечення списання на собівартість повної суми даного активу, списання задане тільки на той продукт, продаж якого буде здійснюватися в наступному місяці після закінчення етапу та після постановки активу на баланс. Примітка: *при організації списання активів на витрати вищевказаним способом, при моделюванні проектів подібного типу, варто стежити за тим, щоб списання відбулося коректно й актив, що списується, не залишався на балансі після продажу продукту цілком або частково. Краще всього проконтролювати це за допомогою таблиці "Список активів" із групи "Деталізація результатів".*

**6. Благоустрій території й будівництво автостоянки.** Етап тривалістю 45 днів. Включає озеленення території, асфальтування, побудова дитячого майданчика, а також будівництво автостоянки під охороною на 250 місць. Закінчення етапу планується одночасно із закінченням будівництва корпусу Б. Списання активу задане на продукт "Продаж місць на автостоянці"

**7. Інші витрати періоду будівництва.** Вартість етапу складають різні поточні витрати компанії "АВС" (введені в діалогах "План персоналу" і "Загальні витрати") у період будівництва до початку здачі в експлуатацію об'єктів і віднесені на даний актив. Етап починається від початку проекту і закінчується одночасно зі здачею в експлуатацію корпусу Б. Як і в попередніх етапах, списання вартості активу задано тільки на той продукт, продаж якого буде здійснюватися в наступному місяці після закінчення етапу, після постановки активу на баланс.

**8. Етап "Виробництво".** В інвестиційному плані відзначають дати здачі в експлуатацію споруджуваних об'єктів. Початок продажів продуктів

(квартир, офісів, місць на автостоянці) можливий тільки після здачі в експлуатацію, і одержання грошей при їхній реалізації до цього моменту у вигляді авансових платежів.

## **2.2 Моделювання задач планування і управління проектами в умовах невизначеності і ризику**

У зв'язку з розвитком ринкових відносин в нашій країні, інвестувати все частіше доводиться в умовах високої невизначеності і невпевненості в отриманні очікуваного кінцевого прибутку. Завжди залишається можливість того, що проект, визнаний спроможним, виявиться збитковим, оскільки досягнуті в ході інвестиційного процесу значення параметрів відхилилися від планових, або ж які-небудь чинники взагалі не були враховані. Інвестор ніколи не матиме в своєму розпорядженні всеосяжної оцінки ризику, оскільки число станів зовнішнього середовища завжди перевищує управлінські можливості приймаючого рішення особи, і обов'язково знайдеться мало імовірнісний сценарій розвитку подій (будь-яка катастрофа, наприклад), який, будучи неврахованим в проекті, тем не менш, може відбутися і порушити інвестиційний процес. В той же час інвестор зобов'язаний докладати зусилля по підвищенню рівня своєї обізнаності і намагатися вимірювати ризикованість своїх інвестиційних рішень, як на стадії розробки проекту, так і в ході інвестиційного процесу. Практичні задачі управління проектами носять багатоваріантний характер, можливі варіанти управлінських рішень залежать від великої кількості чинників, які викликають появу ризику, тому використовувана в практиці модель управління реалізацією проектів повинна враховувати чинники ризику.

Реалізація ухвалених рішень по управлінню складними проектами схильна об'єктивно існуючій і принципово неусувній невизначеності. Той або інший

прояв невизначеності може затримати настання запланованих подій, змінити їх зміст, або викликати небажаний розвиток подій що як передбачаються, так і не передбачаються. В результаті поставлена мета не буде досягнута або досягнута не повною мірою. Можливість відхилення від мети, тобто неспівпадання фактично отриманого з наміченим результатом у момент ухвалення рішення, характеризується такою категорією як ризик.

Ризик зазвичай підрозділяється на два типи – динамічний і статичний.

Динамічний тип – це ризик непередбачених змін вартості основного капіталу унаслідок ухвалення управлінських рішень або непередбачених змін ринкових або політичних обставин. Такі зміни можуть привести як до втрат, так і до додаткових доходів.

Статичний ризик – це ризик втрат реальних активів унаслідок нанесення збитку власності, а також втрат доходу із-за недієздатності організації. Цей ризик може привести тільки до втрат.

Особливий інтерес для підприємств представляє перший тип. Сучасні методи оцінки націлені на аналіз саме цього класу ризику.

Після зіставлення вкладень в проект з урахуванням ступеня невизначеності і ризику з розміром очікуваного прибутку інвестор зможе ухвалити більш обґрунтоване рішення про інвестування.

Постійне ускладнення систем виробництва робить неприйнятними сучасні аналітичні детерміновані методи для дослідження організаційно-технологічних рішень і проектування інвестиційних проектів, оскільки «прогнозування» поведінки складної системи може мати сенс тільки в рамках імовірнісних категорій. Іншими словами, для очікуваних подій можуть бути вказані лише вірогідність їх настання.

Вельми перспективним в зв'язку з цим є імітаційне моделювання, яке дозволяє дати єдине логіко-математичне представлення системи на основі об'єднання формальних і неформальних методів. Вивчення досвіду застосування імітаційного моделювання в інших галузях свідчить про його великі практичні можливості.

Імітаційне моделювання є по суті, єдиним методом дослідження випадкових систем інвестиційного проекту, де натуральний експеримент практично нездійснений (вимагає великих витрат часу, засобів і економічно недоцільний). Імітаційні методи дозволяють не тільки аналізувати всі існуючі системи, але на основі цього досвіду і різних гіпотез прогнозувати і проектувати оптимальні по кожному прийнятому критерію системи, що володіють принципово новими організаційно-технологічними якостями, такими як організаційно-технологічна надійність [53,133].

Підвищення організаційно-технологічної надійності виробництва можна досягти двома принципово різними шляхами:

1. Зменшенням величини чинників, що порушують надійність функціонування будівельних систем, що не завжди можливо;
2. Розробкою системи, що надійно функціонує в умовах дії цих чинників.

Однією з причин, що утрудняють знаходження абсолютно оптимального рішення розподілу вкладень і на їх основі виробництва робіт, є випадковий характер значення тривалості робіт всього інвестиційного проекту і, як наслідок, варіювання вартості проекту від запланованої величини.

Проведені дослідження [53,133] дозволяють зробити вивід, що для оцінки критеріїв надійності рішень організаційно-технологічного проектування необхідно використовувати імовірнісні методи, їх створення і додаток повинні базуватися на сіткових моделях, тип опису яких носить детерміновано-стохастичний характер. При цьому окремі характеристики дуг-робіт представляються як випадкові величини, які підлягають певному закону розподілу. Параметри розподілу встановлюються на основі статистичних або нормативних даних з використанням відомих методів їх статистичної обробки. У разі відсутності таких даних можна використовувати експертні оцінки параметрів, визначені апріорі на основі виробничого досвіду.

Імітаційна модель повинна відображати об'ємно-конструктивні характеристики інвестиційного проекту, організаційно-технологічні

особливості виконання робіт, багатоваріантність і імовірнісний характер виробництва.

Використання імітаційного моделювання стосовно проектування інвестиційних проектів на підприємстві може бути проведене на основі ОТМ. Календарний план будується з урахуванням вимог і обмежень організації, технології і економіки виробництва, що встановлюють чітку послідовність виконання робіт. При цьому далеко не повністю враховуються варіантність здійснення робіт, їх взаємозв'язки в процесі виконання інвестиційного проекту, не визначається доцільний порядок перерозподілу ресурсів між ділянками і роботами, зазвичай необхідний в процесі виробництва. Отже, існує значна кількість неврахованих і неоцінених мір свободи в структурі складного проекту, відбивані детерміновано в моделі.

У зв'язку з цим очевидна можливість вибору тих мір свободи і такої структури процесу, які дозволяють скоротити термін при заданому рівні надійності або підвищити надійність при заданому терміні. Така оптимізація ОТР можлива при використанні імітаційного моделювання, що дозволяє відтворити дії керівника в процесі виконання інвестиційного проекту. При цьому в процесі проектування можна одночасно врахувати як організаційно-технологічні умови виробництва, так і питання управління перерозподілом ресурсів. Цілеспрямована побудова моделі із заданим рівнем надійності є задачею синтезу і принципово відрізняється від методології, що склалася, заснованої на детермінованому аналізі декількох варіантів плану по критеріях, що не враховують надійність.

Процеси, що відбуваються в інвестиційному проекті, кількісно можуть бути описані деяким заданим набором фазових координат, що повністю визначають стан системи в даний момент часу з урахуванням прийнятих обмежень. Можливості дій, що управляють, в системі представляються набором деяких величій, що впливають на її фазові координати. Ці величини можуть бути вибрані в кожен фіксований момент часу довільно з деякої заданої множини.

Фазові координати системи залежать також від ряду неконтрольованих змінних, що відображають обстановку, що змінюється в часі. Дійсно, практично неможливо заздалегідь передбачити все ті відхилення, які можуть виникнути і викликати зміну запланованих рішень в процесі реального функціонування системи із-за непередбачених зовнішніх дій.

Неконтрольовані чинники з погляду наявної інформації у момент побудови моделі, можна розділити на три групи [99]:

- певні чинники, значення яких є відомими;
- статистично певні чинники (випадкові з відомими законами розподіли);
- невизначені чинники, для яких вказана тільки область їх зміни або область, усередині якої знаходяться закони розподілу, якщо ці чинники випадкові.

Звичайна процедура включення неконтрольованих чинників при побудові моделі полягає в їх опосередкованому обліку через значення внутрішніх параметрів системи, які вважаються випадковими величинами з відомими функціями розподілу. При цьому модель повинна генерувати ситуації, що виникають під впливом обурюючих чинників. Пропонуємо наступну методіку рішення задачі обліку ризику і невизначеності в складному проекті за умови виконання його в строк, заданий інвестором.

Тривалість і вартість роботи по сітьовій моделі заздалегідь точно не відома і може приймати лише одне з ряду можливих значень. Іншими словами, тривалість роботи  $t_{ij}$  і вартість  $c_{ij}$  є випадковою величиною, що характеризується своїм законом розподілу, а значить, своїми числовими характеристиками. Практично у всіх системах СПУ апріорі приймається, що розподіл тривалості і вартості робіт володіє трьома властивостями: а) безперервністю; б) унімодальністю, тобто наявністю єдиного максимуму у кривій розподілу; у) двома точками перетину кривої розподілу з віссю  $Ox$ , що мають ненегативні абсциси [42,43,44].

Крім того, встановлено, що розподіл тривалості і вартості робіт володіє позитивною асиметрією, тобто максимум кривою зміщений вліво щодо медіани

(лінії, що ділить площу під кривій на дві рівні частини). Розподіл, як правило, крутіше піднімається при видаленні від мінімального значення  $t$ , полого опускається при наближенні до максимального значення  $t$  (рис. 2.1).

Простим розподілом з подібними властивостями є відоме в математичній статистиці  $\beta$ -розподіл. Аналіз великої кількості статистичних даних (хронометражі часу реалізації окремих робіт, нормативні дані і т.д.) показує, що  $\beta$ -розподіл можна використовувати як апріорний для всіх робіт.

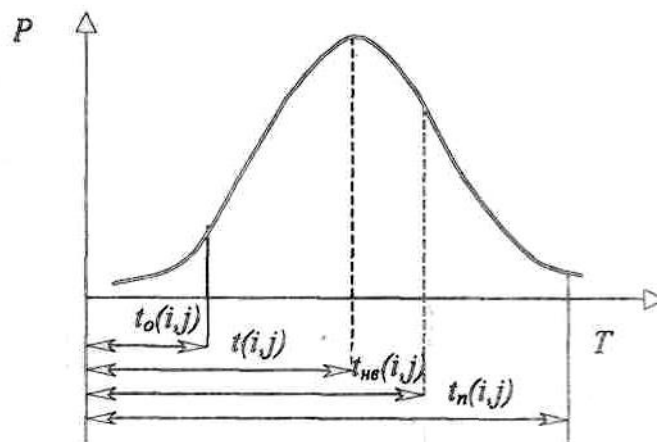


Рисунок 2.2 - Графік щільності розподілу тривалості проекту

Для визначення числових характеристик математичного очікування  $\bar{t}_{ij}$  і цього розподілу для роботи  $(i,j)$  на підставі опиту відповідальних виконавців проекту і експертів визначають три тимчасові оцінки (рис. 2.1):

- оптимістичну оцінку*  $t^0_{ij}$ , тобто тривалість роботи  $(i,j)$  за найсприятливіших умов;
- песимістичну оцінку*  $t^n_{ij}$ , тобто тривалість роботи  $(i,j)$  за найсприятливіших умов;
- найбільш вірогідну оцінку*  $t^{нб}_{ij}$ , тобто тривалість роботи  $(i,j)$  за нормальних умов.

Припущення про  $\beta$ -розподіл тривалість роботи  $(i,j)$  дозволяє визначити математичне очікування  $m(t_{ij})$  і дисперсію часу виконання  $D(t_{ij})$  по формулах:

$$m(i, j) = \frac{[t_{ij}^0 + 4t_{ij}^{H6} + t_{ij}^n]}{6}$$

$$D(i, j) = \left( \frac{t_{ij}^n - t_{ij}^0}{6} \right)^2 \quad (2.1)$$

Якщо сітьова модель  $G$  складається з  $A$  робіт з випадковою тривалістю їх виконання, то час виконання всіх робіт є випадковими величинами із заданими законами розподілу. Загальний час (критичний шлях) виконання всього проекту, розглядається як функція випадкових величин, тобто  $T(G) = \sum_{i,j=1}^n t_{ij}$ .

Довжина шляху  $T(G)$  вважається розподіленою (згідно центральній граничній теоремі) по нормальному закону з математичним очікуванням  $m(G)$  і дисперсією  $D(G)$ :

$$m(G) = \sum_{ij \in A_{кр}} T_{ij}$$

$$D(G) = \sum_{ij \in A_{кр}} D_{ij}^2 \quad (2.2)$$

де  $A_{кр}$  – підмножина робіт критичного шляху.

Значення  $m(G)$  і  $D(G)$  можуть розглядатися як додаткові імовірнісні критерії оцінки ефективності варіанту.

Приведені формули носять суб'єктивний характер (як і важ підхід такого роду до імовірнісних систем). Мірою достовірності розрахунку служить близькість заданих величин  $t_{i,j}^0$ ,  $t_{i,j}^n$ ,  $t_{i,j}^{H6}$  до об'єктивних нормативних даних. Крім цього  $\beta$ -розподіл характеризується чотирма параметрами, які не можуть бути оцінені по трьом заданим характеристикам. Ця обставина робить неможливим моделювання значень часу виконання робіт методом статистичних випробувань.

У роботах [42,43,44] запропонована формула  $\beta$ -розподілу:

$$P(i, j) = \left( \frac{12 \times [t_{ij}^{H6} - t_{ij}^0] \times [t_{ij}^n - t_{ij}^{H6}]^2}{[t_{ij}^n - t_{ij}^0]^4} \right), \quad (2.3)$$



яка дозволяє понизити число аналізованих даних із збереженням достатньої точності оцінки і робить можливим моделювання значень часу виконуваних робіт методом статистичних випробувань на основі всього лише двох характеристик  $t_{ij}^o$ ,  $t_{ij}^n$ , що задаються. Виразу для визначення математичного очікування  $m(t_{ij})$  і дисперсії часу виконання  $D(t_{ij})$  в цьому випадку приймає вигляд:

$$m(i, j) = \frac{3t_{ij}^o + 2t_{ij}^n}{5}; \quad (2.4)$$

$$D(i, j) = 0,04[t_{ij}^n - t_{ij}^o]^2.$$

Оцінка критерію надійності  $P$  виконання проекту в заданий термін  $T_3$  визначається як вірогідність попадання випадкової величини  $T$  в інтервал  $[0, T_3]$ :

$$P(T \leq T_3) = \int_0^{T_3} W(t) dt \quad (2.5)$$

де  $W(t)$  – щільність вірогідності випадкової величини  $T$ .

Моделювання сіткових моделей методом статистичних випробувань з використанням обчислювальної техніки показало, що без урахування стохастичних робіт розподіл більше відповідає нормальному закону, що має вигляд:

$$W(T) = \frac{e^{-\left[\frac{(T - T_{\min}) - (T_0 - T_{\min})}{\sigma}\right]^2 / 2\sigma^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}}, \quad (2.6)$$

а з урахуванням стохастичних робіт більше відповідає логарифмічному нормальному закону розподілу, що має вигляд:

$$W(T) = \frac{M}{(T - T_{\min})\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-[\lg(T - T_{\min}) - \lg(T_0 - T_{\min})]^2 / 2\sigma^2} \quad (2.7)$$

де  $T_0$  – медіана статистичного розподілу, тобто таке значення  $T$ , при якому площа гістограми зліва рівна площі справа

$T_{\min}$  – мінімальне статистичне значення  $T$ , після розіграшів

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення випадкової величини  $T$ .

Для логарифмічного нормального розподілу:

$$\sigma^2 = M(\lg T_0 - \lg T_M)$$

$T_M$  – мода статистичного розподілу, тобто  $T$ , що має максимальне значення  $F_I$  – частоти (вірогідності).

Для нормального закону розподілу:

$$\sigma^2 = \sum \frac{(T_n - T_0)^2}{N - 1} \quad (2.8)$$

$M$  – перехід від натуральних логарифмів до десяткових ( $M = 0,4343$ ).

Таким чином, вірогідність того, що проект буде виконаний в заданий час без урахування стохастичних робіт і з урахуванням стохастичності визначуваний по формулах:

$$P(T \leq T_3) = \int_0^{T_3} \frac{e^{-\left[\frac{(T - T_{\min}) - (T_0 - T_{\min})}{\sigma}\right]^2 / 2\sigma^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} dT$$

$$P(T \leq T_3) = \int_0^{T_3} \frac{M}{(T - T_{\min})\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-[\lg(T - T_{\min}) - \lg(T_0 - T_{\min})]^2 / 2\sigma^2} dT \quad (2.9)$$

Як критерій ефективності задачі приймаємо величину оптимального співвідношення величин вартості і термінів виконання проекту залежно від конкретних цілей, що ставляться при його реалізації. А саме можливість вибору такого плану інвестування проекту, який дозволяє скоротити термін при заданій надійності або підвищити надійність при заданому терміні, але з урахуванням показників вартості проекту. Цей критерій характеризується наступними властивостями: актуальністю, новизною, можливістю економічної інтерпретації.

Обмеженнями є: заданий рівень надійності, заданий термін виробництва, кількість ресурсів при скороченні терміну, а також правила їх взаємодії і специфіка інвестування, облік яких при сучасному розвитку може проводитися на основі досвіду і інтуїції дослідників. Після побудови оптимального рішення практичний інтерес представляють також питання: з якою вірогідністю можна чекати освоєння капітальних вкладень і подальше виконання робіт за певний заданий час  $T$  і в рамках виділених засобів  $C$ . З найбільшою достовірністю

можна відповісти на поставлені питання після статистичних випробувань сітьової моделі робіт.

Пропонується наступна методика використання методу статистичного моделювання для оцінки критеріїв надійності параметрів організаційно-технологічних варіантів зведення об'єктів виробництва.

Кожна робота  $(i,j) \in A$  характеризується тривалістю  $t_{ij}$ , яка може знаходитися в межах:

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij} \quad (2.10)$$

де  $a_{ij}$  – мінімально можлива (екстрена) тривалість роботи  $(i,j)$ , яку тільки можна здійснити в умовах розробки;

$b_{ij}$  – нормальна тривалість виконання роботи  $(i,j)$ .

При використанні методу «час – вартість» припускають, що зменшення тривалості роботи пропорційне зростанню її вартості, тобто вартість  $c_{ij}$  роботи  $(i,j)$  поміщена в межах від  $c_{ij}^{\min}$  (при нормальній тривалості роботи) до  $c_{ij}^{\max}$  (при екстреній тривалості роботи). Використовуючи апроксимацію по прямій (рис. 2.5), можна знайти зміну вартості роботи  $\Delta c_{ij}$  при зміні її тривалості:

$$\Delta c_{ij} = (b_{ij} - t_{ij})h_{ij}. \quad (2.11)$$

Величина  $h_{ij}$  показує витрати на прискорення роботи  $(i,j)$  (в порівнянні з нормальною тривалістю) на одиницю часу:

$$h_{ij} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{c_{ij}^{\max} - c_{ij}^{\min}}{b_{ij} - a_{ij}} \quad (2.12)$$

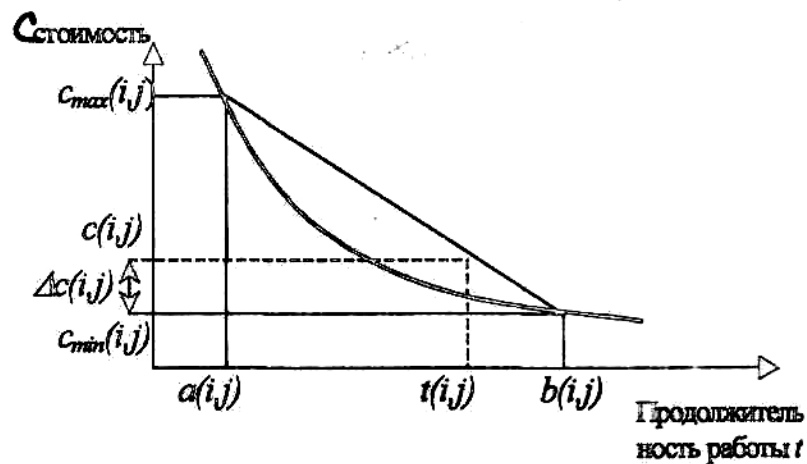


Рисунок 2.3 - Залежність тривалості і вартості роботи

Закон розподілу випадкової величини  $T_{кр}$  є композицією законів розподілу випадкових величин тривалості робіт, що належать критичному шляху.

В даний час одним з найбільш поширених прийомів побудови випадкових (точніше псевдовипадкових) чисел із заданим законом розподілу є метод інверсій, який полягає в наступному.

Хай  $P(t)$  – щільність розподілу випадкової величини. Область її зміни  $[a_{ij}, b_{ij}]$ . Помістимо область, обмежену віссю абсцис, і графіком функції усередині прямокутника, обмеженого на осі абсцис прямими  $t_{ij} = b_{ij}$ ,  $t_{ij} = a_{ij}$  і прямою  $y = \max P(t) = M$ , як показано на рис. 2.3.

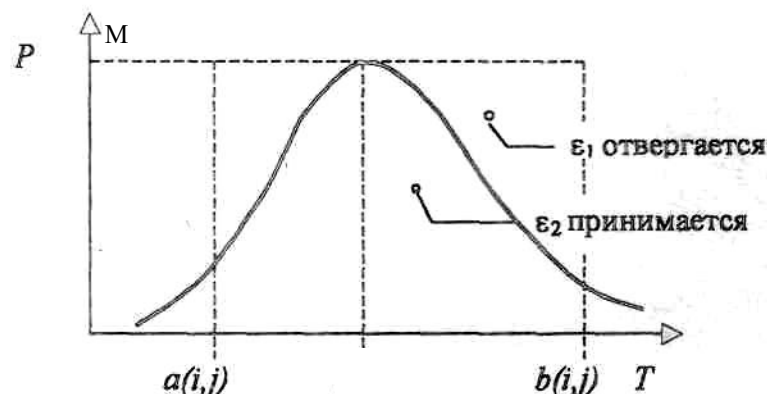


Рисунок 2.4 - Графік щільності розподілу

Площа такого прямокутника рівна:  $(b_{ij} - a_{ij})M$ . Нехай  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – дві рівномірно розподілені випадкові величини:  $\varepsilon_1$  рівномірно розподілена в інтервалі  $[a_{ij}, b_{ij}]$ ,  $\varepsilon_2$  – в інтервалі  $[0, M]$ . Якщо  $P(\varepsilon_1) \geq \varepsilon_2$ , то число  $\varepsilon_1$  приймається як шукана випадкова величина, якщо ж  $P(\varepsilon_1) < \varepsilon_2$ , то пара  $[\varepsilon_1, \varepsilon_2]$  відкидається і береться наступна. Цей процес продовжується до тих пір, поки знову не матиме місця співвідношення  $P(\varepsilon_1) \geq \varepsilon_2$ . Даний спосіб особливо ефективний в тих випадках, коли зміна функції  $P(t)$  в інтервалі  $[a_{ij}, b_{ij}]$  не велика.

Математичне очікування числа розиграшів двовимірної крапки  $[\varepsilon_1, \varepsilon_2]$  для набуття єдиного значення випадкової величини  $t_{ij}$  рівне:

$$m = (b_{ij} - a_{ij})M \quad (2.13)$$

Для випадку (2.13)  $M$  рівно

$$M = 16/9 (b_{ij} - a_{ij}) \quad (2.14)$$

Таким чином,  $\varepsilon_1$  моделюється в інтервалі  $[a_{ij}, b_{ij}]$ , а  $\varepsilon_2$  – в інтервалі  $[0, 16/9 (b_{ij} - a_{ij})]$ . Якщо випадкова величина розподілена в інтервалі  $[0 \div 1]$  рівномірно (а саме такого роду випадкові послідовності генеруються програмним способом), зведення випадкової величини  $t_{ij}$ , розподіленою рівномірно в інтервалі  $[a_{ij}, b_{ij}]$ , проводиться за допомогою функціонального перетворення:

$$t_{ij} = (b_{ij} - a_{ij})\varepsilon + a_{ij}, \quad (2.15)$$

а значення  $c_{ij}$  визначається по формулі:

$$c_{ij} = \frac{[b_{ij} - t_{ij}] \cdot [c_{ij}^{\max} - c_{ij}^{\min}]}{b_{ij} - a_{ij}} \quad (2.16)$$

Практично цілком досить вважати всі вхідні в план роботи за часом незалежними, а відповідні ним величини некорельованими.

У багатьох випадках сітьові моделі мають частину стохастичних робіт. Зокрема, що умовно приймаються як вірогідність появи стохастичних робіт (це перш за все усунення виникаючих непередбачених ситуацій) і їх тимчасові оцінки визначаються тільки на основі досвіду. Перш ніж приступити до дослідження сітьової моделі методом статистичних випробувань, необхідно побудувати робочий початковий сітьовий графік з включенням в нього, якщо є необхідність, стохастичних робіт. Для моделювання процесу методом статистичних випробувань потрібно порядком  $10^3 - 10^5$  розигравів.

Розрахувавши сітьовий графік при  $t_{ij} = a_{ij}$ , отримаємо  $T_{min}$  потім вважаємо  $t_{ij} = b_{ij}$  отримуємо  $T_{max}$ . Значення  $T_{min}$ ,  $T_{max}$  визначають можливі краєві терміни реалізації моделі. Значення  $C_{min}$ ,  $C_{max}$  визначають краєві вартості реалізації проекту, випадкової величиною для операцій в даному випадку виступає  $t_{ij}$ . Проміжок  $[T_{min}, T_{max}]$  розбиваємо на інтервали  $\Delta T_i$  ( $T_1 = T_{min} + \Delta T_i$ ,  $T_2 = T_1 + \Delta T_i$ ) і т.д. В області математичного очікування інтервали  $\Delta T_i$  необхідно брати найменшими.

При черговому розиграві моделі для кожної операції  $(i,j) \in A$ , у якої  $t_{ij} > t_{min}$ , генерується випадкове число  $\varepsilon$  згідно із законом  $\beta$ -розподілу. Після визначення всіх значень тривалості операцій –  $t_{ij}$ , сітьова модель розраховується по стандартній підпрограмі і встановлюється випадковий час її реалізації по одному з можливих варіантів числа розигравів –  $T_i$ . Для кожної операції визначається випадкова величина  $e$ , розподілена в інтервалі  $[0,1]$  рівномірно, а саме такого роду випадкові послідовності генеруються програмним способом, як вказано вище, і зведення до випадкової величини  $t_{ij}$ , розподіленою в інтервалі  $[t_{min} - t_{max}]$ , проводиться по формулі 2.15.

Багатократним розигравом сітьової моделі по розглянутому вище методу визначаємо кількість значень  $T$ , що потрапили в кожен із заданих інтервалів  $\Delta T_i$ , і відповідні частоти  $F_i$  по виразу:

$$F_i = NN / N_{li} \quad (2.17)$$

де  $N_{li}$  – кількість розигравів сітьової моделі

Значення  $F_1$  необхідне для побудови графіка статистичної функції розподілу  $F(T) = P(T \leq T_{\text{задан}})$  і гістограми частот (рис. 2.3). Для побудови графіка статистичної щільності розподілів необхідно для кожного інтервалу визначити значення  $F_2$  по виразу:

$$F_2 = F_1 / \Delta T_i \quad (2.18)$$

Всі отримані результати зводяться в таблицю статичного ряду. По значеннях  $F_2$  можна побудувати статистичний графік щільності розподілу вірогідності випадкової величини  $T$  і визначити параметри функції щільності розподілу  $f(T)$ . Визначається ділянка  $\Delta T_i$ , у який потрапляє  $T_i$ . На друк видається вісім масивів, які використовуються для побудови графіка статистичної функції розподілу часу і вартості виконання проекту, а також для побудови графіка щільності  $f(T)$  і  $f(C)$ .

Статистичні  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$ , як правило, мають значення  $T_{\min} > T_{\min}$ ,  $T_{\max} < T_{\max}$ . Це логічно, оскільки практично дуже вірогідний випадок, коли в сітвовій моделі всі роботи виконуються тільки при мінімальній або максимальній тривалості.

Для визначення тривалості  $T_n$ , в яку ми укладемося із заданим рівнем надійності  $P_3$  необхідно вирішити задачу:

$$T_n = \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} \frac{e^{-\left[\frac{(T-T_{\min})-(T_0-T_{\min})}{\sigma}\right]^2 / 2\sigma^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} dT \quad (2.19)$$

Інтегруванням  $f(T)$  в межах  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  можна визначити вірогідність виконання проекту в заданий термін.

Для більшості практичних задач будівельного виробництва раціональніше і значно простіше будувати графік статистичної функції розподілу  $F(T)$  і по ньому графічно визначити вірогідність виконання графіка робіт за відведений час. Робиться це таким чином: по осі абсцис відкладаються прийняті значення  $T_{\min}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ , ...  $T_{\max}$ . З середини кожного інтервалу  $T$  будуються ординати, рівні сумі всіх  $F_1$ , лівіше вартих інтервалів, включаючи і  $F_1$  даного інтервалу.

З'єднавши отримані точки кривої, отримуємо графік функції розподілу  $F(T)$  (рис. 2.5).

Для більшості практичних задач раціонально будувати графік  $F(T) = P(T < T_3)$ ,  $F(C) = P(C < C_3)$  і по ньому графічно визначати реалізацію моделі в заданий час і вартість. Користуючись їм, не удаючись до аналітичного розрахунку, можна встановити рівень надійності і ризику. Границя допустимого ризику (ГДР), як показали багато досліджень [2; 116], знаходиться в наступному діапазоні:

$$0,35 < P(T) < 0,65 \quad (2.20)$$

При  $P(T) < 0,35$  небезпека порушення термінів і вартості (збільшення) настільки велика, що слід переглянути рішення. Якщо  $P(T) > 0,65$  доцільно переглянути рішення, оскільки використовуються надмірні ресурси [71-75].

Розглянемо на прикладі використання даної методики. Необхідно змоделювати процес виконання інвестиційного проекту (рис. 2.4) і встановити вірогідність виконання його в строк, розрахований по оптимістичних і найбільш вірогідних параметрам. Бюджет проекту 1900 тис. грн.

Для оцінки вірогідності  $P(T)$  виконання проекту по оптимістичних і найбільш вірогідним параметрам (табл. 2.3) виконані розрахунки термінів реалізації проекту:  $T_{\text{опт}} = 390$  змін (табл. 2.4),  $T_{\text{н.в.}} = 473$  змін (табл. 2.5).

Розрахунок укрупненої сітьової моделі (рис 2.4) при заданих значеннях дозволяє встановити теоретичну і статистичну тривалість і вартості проекту. В результаті роботи алгоритму статистичного моделювання (програма MONTE) по оптимістичних параметрах (табл. 2.1) отриманий результат, який представлений в таблиці 2.2.

Згідно вірогідності реалізації випадкової величини  $T$  (частоти  $f_1$  в табл. 2.2) в розрізі інтервалів будуємо гістограму розподілу  $T$  (рис.2.5 а) і графік статистичної функції розподілу вірогідності  $P(T)$  (рис. 2.5 б).

Стандартні характеристики випадкової величини  $T$  визначаються таким чином:

а) середньозважене значення випадкової величини :



$$\bar{O} = \sum \dot{O}_i * n_i / N_{ii} = 95034/200 = 475,17 \text{ змін};$$

б) математичне очікування випадкової величини (середнє очікуване значення):

$$T_{m.o.} = \sum P(T_i) * T_i = 472,83 \text{ змін};$$

$$\text{в) дисперсія } D(T) = \frac{\sum (T_i - \bar{T})^2 * n_i}{N_{ii}} = 29632,8/200 = 148,2;$$

Характеризує відхилення дійсних результатів від очікуваних і є мірою розкиду.

г) стандартне відхилення випадкової величини T:

$$\sigma = \sqrt{D(T)} = \sqrt{148,2} = 12,2.$$

Термін реалізації проекту по найбільш вірогідним  $t_{ij}$  - Тн.в. = 473 змін, йому відповідає  $P(\text{Тн.в.}) = 0,6$

Вірогідність виконання проекту в строк Тн.в., тобто 473 змін:

$$P(T \leq 473) = \int_0^{473} \frac{e^{-\left[\frac{(T-T_{\min})-(T_0-T_{\min})^2}{2\sigma^2}\right]}}{\sigma\sqrt{2\pi}} dt$$

Вірогідність виконання проекту в рамках заданого бюджету, т.е.:

$$P(C \leq 1900) = \int_0^{1900} \frac{e^{-\left[\frac{(C-C_{\min})-(C_0-C_{\min})^2}{2\sigma^2}\right]}}{\sigma\sqrt{2\pi}} dt$$

Отже, виходячи з отриманих результатів можна зробити однозначний вивід: встановлений термін проекту  $T_3 = 473$  зміни за умови, що вартість робіт не повинна перевищувати 1900 тис. грн., може бути виконаний. Отже, рішення не слід переглянути, оскільки вірогідність того, що проект буде зданий в заданий час (0,60), а встановлена вартість  $3 = 1900$  реальна для тривалості в 473 днів.

Економічна ефективність інновації полягає в загальному випадку в оптимізації використання капіталу, в ефективному формуванні резервних фондів.

Неповнота і неточність інформації в умовах реалізації проекту можуть привести до виникнення окремих ситуацій і наслідків. Щоб запобігти цьому, необхідно включити в життєвий цикл проекту оцінку ризику і невизначеності. Розроблена спеціальна методика дозволяє враховувати чинники ризику і невизначеності, змодельовати процес реалізації проекту, оцінити наслідки виникнення несприятливих ситуацій, вибрати методи зниження їх впливу, простежити за фактичними параметрами проекту в ході його здійснення і скоректувати їх відповідно потрібному напрямку.

Складена програма MONTE передбачає два варіанти рішень: без урахування стохастичних робіт і з їх обліком. Результати розрахунків підтверджують працездатність запропонованої методики оптимізації управління складними проектами в умовах ризику, яка може служити хорошим доповненням для обґрунтування ухвалення рішень керівниками різного рівня.

Описана імітаційна модель реалізації складних проектів дозволяє не тільки оцінювати (аналізувати), але і формувати (синтезувати) при заданому рівні надійності оптимальні по вибраному критерію організаційно-технологічні рішення, зокрема, календарні плани.

Як показала практика виробництва, дія численних випадкових чинників, що мають місце при виконанні складного проекту, може приводити не тільки до появи розкиду окремих робіт комплексу, але і до зміни топології початкової мережі (в межах задоволених великих допусків, дозволених технологією). В процесі оперативного управління системою за наявності випадкових чинників структура сітьової моделі може зазнавати значні зміни, а отже, оцінка організаційно-технологічної надійності і ряду інших показників досліджуваної системи, а також вибір її параметрів повинні бути безпосередньо пов'язані з дослідженням процесу її функціонування. Тому в наших дослідженнях вирішується загальна задача, яка може бути сформульована як задача розподілу обмежених ресурсів на множині технологічно допустимих варіантів організації виробництва.

Найбільш істотна відмінність проведеної роботи від подібних зарубіжних і вітчизняних робіт полягає в тому, що моделюються дві величини: тривалість і вартість з урахуванням їх коррельованості.

Доведена обґрунтованість ОТН отриманого варіанту освоєння капвкладень і встановлена границя допустимого ризику (ГДР) на основі реалізації статистичного моделювання КУСГа і використання розробленої програми MONTE. Запропонована статистична функція  $F^*(T)$  зручна і проста у використанні. Автоматизація обчислювальних процесів дозволяє в діалоговому (інтерактивному) режимі ухвалювати рішення, давати їм оцінку і оперативно їх переглядати.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для статистичного моделювання

код початку роботи np	код закінчення роботи pk	min тривал. роботи a	max тривал. роботи b	вартість Тривал. роботи р	вірогідність Cij появи роботи min	вірогідність Cij появи роботи max
1	- 2	16	26	1 1	1.000000000E+00	
2	- 3	42	60	1 1	1.000000000E+00	
2	- 10	15	26	1 1	1.000000000E+00	
3	- 4	46	72	1 1	1.000000000E+00	
3	- 10	1	2	1 1	1.000000000E+00	
4	- 5	67	86	1 1	1.000000000E+00	
4	- 11	1	2	1 1	1.000000000E+00	
5	- 6	20	45	1 1	1.000000000E+00	
5	- 12	1	2	1 1	1.000000000E+00	
6	- 7	62	86	1 1	1.000000000E+00	
6	- 13	1	2	1 1	1.000000000E+00	
7	- 8	21	45	1 1	1.000000000E+00	
7	- 14	1	2	1 1	1.000000000E+00	
8	- 9	62	80	1 1	1.000000000E+00	
8	- 15	1	2	1 1	1.000000000E+00	
9	- 16	1	2	1 1	1.000000000E+00	
9	- 17	20	42	1 1	1.000000000E+00	
9	- 18	22	35	1 1	1.000000000E+00	
10	- 11	41	68	1 1	1.000000000E+00	
11	- 12	46	72	1 1	1.000000000E+00	
12	- 13	62	80	1 1	1.000000000E+00	
13	- 14	20	45	1 1	1.000000000E+00	
14	- 15	62	80	1 1	1.000000000E+00	
15	- 16	21	45	1 1	1.000000000E+00	
16	- 17	40	61	1 1	1.000000000E+00	
17	- 18	11	21	1 1	1.000000000E+00	
18	- 19	3	7	1 1	1.000000000E+00	

Таблиця 2.2 - Результати статистичного розіграшу сітьової моделі

теоретичні LMIN = 3.9100000000E+02  
LMAX = 5.9100000000E+02

номер інтервалу	ліва межа	права межа	кількість реалізацій (вірогідність)	частота f1 (щільність)	частота f2 (щільність)
1	3.91E+02	3.98E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
2	3.98E+02	4.04E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
3	4.04E+02	4.11E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
4	4.11E+02	4.18E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
5	4.18E+02	4.24E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
6	4.24E+02	4.31E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
7	4.31E+02	4.38E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
8	4.38E+02	4.44E+02	1	5.0E-03	7.5E-04
9	4.44E+02	4.51E+02	4	2.0E-02	3.0E-03
10	4.51E+02	4.58E+02	12	6.0E-02	9.0E-03
11	4.58E+02	4.64E+02	15	7.5E-02	1.1E-02
12	4.64E+02	4.71E+02	41	2.0E-01	3.1E-02
13	4.71E+02	4.78E+02	46	2.3E-01	3.5E-02
14	4.78E+02	4.84E+02	38	1.9E-01	2.9E-02
15	4.84E+02	4.91E+02	22	1.1E-01	1.7E-02
16	4.91E+02	4.98E+02	13	6.5E-02	9.8E-03
17	4.98E+02	5.04E+02	8	4.0E-02	6.0E-03
18	5.04E+02	5.11E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
19	5.11E+02	5.18E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
20	5.18E+02	5.24E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
21	5.24E+02	5.31E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
22	5.31E+02	5.38E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
23	5.38E+02	5.44E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
24	5.44E+02	5.51E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
25	5.51E+02	5.58E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
26	5.58E+02	5.64E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
27	5.64E+02	5.71E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
28	5.71E+02	5.78E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
29	5.78E+02	5.84E+02	0	0.0E+00	0.0E+00
30	5.84E+02	5.91E+02	0	0.0E+00	0.0E+00

статистические minL= 4.4186230630E+02 maxL= 5.0363937626E+02

Таблиця 2.3 - Вихідні дані

Вихідні дані для розрахунку Тн.в. по найбільш вірогідним $t_{ij}$				
№	коди	d	D	C
1	1-2	19	26	2
2	2-3	51	60	3
3	2-10	20	26	1
4	3-4	58	72	2
5	3-10	0	0	0
6	4-5	70	86	4
7	4-11	0	0	0
8	5-6	30	45	1

Вихідні дані для розрахунку Топт. по оптимістичним $t_{ij}$				
№	коди	d	D	C
1	1-2	16	26	2
2	2-3	42	60	3
3	2-10	15	26	1
4	3-4	46	72	2
5	3-10	0	0	0
6	4-5	67	86	4
7	4-11	0	0	0
8	5-6	20	45	1

9	5-12	0	0	0
10	6-7	70	86	3
11	6-13	0	0	0
12	7-8	31	45	2
13	7-14	0	0	0
14	8-9	71	80	3
15	8-15	0	0	0
16	9-16	0	0	0
17	9-17	30	42	2
18	9-18	22	35	5
19	10-11	50	68	3
20	1-12	59	72	1
21	12-13	70	80	4
22	13-14	31	45	3
23	14-15	70	80	3
24	15-16	31	45	2
25	16-17	53	61	2
26	17-18	15	21	1
27	18-19	5	7	1

9	5-12	0	0	0
10	6-7	62	86	3
11	6-13	0	0	0
12	7-8	21	45	2
13	7-14	0	0	0
14	8-9	62	80	3
15	8-15	0	0	0
16	9-16	0	0	0
17	9-17	20	42	2
18	9-18	22	35	5
19	10-11	41	68	3
20	1-12	46	72	1
21	12-13	62	80	4
22	13-14	20	45	3
23	14-15	62	80	3
24	15-16	21	45	2
25	16-17	40	61	2
26	17-18	11	21	1
27	18-19	3	7	1

Таблиця 2.4 - Оптимальне рішення по оптимістичним  $t_{ij}$

	N	поч.-кін.	T(i)	T(j)	dij	Xij	Dij	Cij	fij	C*d	C*X	C*D	GAM	DLT	DGAM	DDLT
	1	1-2	0	16	16	16	26	2	7	32	32	52	0	5	0	80
	2	2-3	16	58	42	42	60	3	7	126	126	180	0	4	0	168
	3	2-10	16	58	15	26	26	1	0	15	26	26	1	0	26	0
	4	3-4	58	104	46	46	72	2	4	92	92	144	0	2	0	92
	5	3-10	58	58	0	0	0	0	3	0	0	0	-3	3	0	0
	6	4-5	104	171	67	67	86	4	4	268	268	344	0	0	0	0
	7	4-11	104	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	5-6	171	191	20	20	45	1	3	20	20	45	0	2	0	40
	9	5-12	171	171	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	1	0	0
	10	6-7	191	253	62	62	86	3	3	186	186	258	0	0	0	0
	11	6-13	191	233	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	7-8	253	274	21	21	45	2	3	42	42	90	0	1	0	21
	13	7-14	253	253	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	8-9	274	336	62	62	80	3	3	186	186	240	0	0	0	0
	15	8-15	274	315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	9-16	336	336	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	1	0	0
	17	9-17	336	376	20	40	42	2	2	40	80	84	0	0	0	0
	18	9-18	336	387	22	35	35	5	0	110	175	175	5	0	175	0
	19	10-11	58	125	41	67	68	3	3	123	201	204	0	0	0	0
	20	11-12	125	171	46	46	72	1	3	46	46	72	0	2	0	92
	21	12-13	171	233	62	62	80	4	4	248	248	320	0	0	0	0
	22	13-14	233	253	20	20	45	3	4	60	60	135	0	1	0	20
	23	14-15	253	315	62	62	80	3	4	186	186	240	0	1	0	62
	24	15-16	315	336	21	21	45	2	4	42	42	90	0	2	0	42
	25	16-17	336	376	40	40	61	2	5	80	80	122	0	3	0	120
	26	17-18	376	387	11	11	21	1	7	11	11	21	0	6	0	66
	27	18-19	387	390	3	3	7	1	7	3	3	7	0	6	0	18

Разом: 1916 2110 2849 201 821

Час виконання проекту: 390  
 $T(D) = 589$      $T(d) = 390$   
 $n1 = C_{ij} * D_{ij} - C_{ij} * X_{ij} = 2849 - 2110 = 739$   
 $n2 = C_{ij} * D_{ij} - C_{ij} * d_{ij} = 2849 - 1916 = 933$   
 $n1/n2 * 100\% = 79\%$   
 $L(x) = 2110$

Таблиця 2.5 - Оптимальне рішення по найбільш вірогідним  $t_{ij}$ 

	N	поч.-кін.	T(i)	T(j)	dij	Xij	Dij	Cij	fij	C*d	C*X	C*D	GAM	DLT	DGAM	DDLT
	1	1-2	0	19	19	19	26	2	7	38	38	52	0	5	0	95
	2	2-3	19	70	51	51	60	3	7	153	153	180	0	4	0	204
	3	2-10	19	70	20	26	26	1	0	20	26	26	1	0	26	0
	4	3-4	70	128	58	58	72	2	6	116	116	144	0	4	0	232
	5	3-10	70	70	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	1	0	0
	6	4-5	128	198	70	70	86	4	6	280	280	344	0	2	0	140
	7	4-11	128	138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	5-6	198	228	30	30	45	1	3	30	30	45	0	2	0	60
	9	5-12	198	198	0	0	0	0	3	0	0	0	-3	3	0	0
	10	6-7	228	298	70	70	86	3	3	210	210	258	0	0	0	0
	11	6-13	228	268	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	7-8	298	329	31	31	45	2	3	62	62	90	0	1	0	31
	13	7-14	298	299	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	8-9	329	400	71	71	80	3	3	213	213	240	0	0	0	0
	15	8-15	329	369	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	9-16	400	400	0	0	0	0	3	0	0	0	-3	3	0	0
	17	9-17	400	453	30	42	42	2	0	60	84	84	2	0	84	0
	18	9-18	400	468	22	35	35	5	0	110	175	175	5	0	175	0
	19	10-11	70	138	50	68	68	3	1	150	204	204	2	0	136	0
	20	11-12	138	198	59	60	72	1	1	59	60	72	0	0	0	0
	21	12-13	198	268	70	70	80	4	4	280	280	320	0	0	0	0
	22	13-14	268	299	31	31	45	3	4	93	93	135	0	1	0	31
	23	14-15	299	369	70	70	80	3	4	210	210	240	0	1	0	70
	24	15-16	369	400	31	31	45	2	4	62	62	90	0	2	0	62
	25	16-17	400	453	53	53	61	2	7	106	106	122	0	5	0	265
	26	17-18	453	468	15	15	21	1	7	15	15	21	0	6	0	90
	27	18-19	468	473	5	5	7	1	7	5	5	7	0	6	0	30

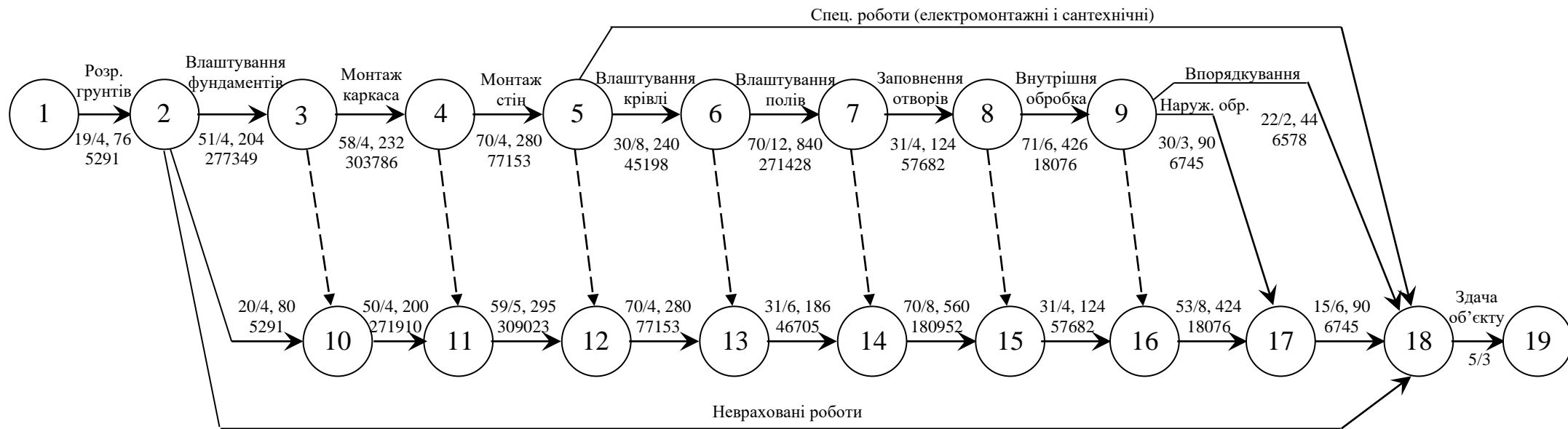
Разом:

2272 2422 2849

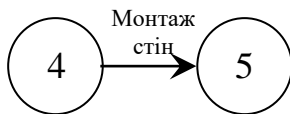
421 1310

Час виконання проекту: 473

 $T(D) = 589$      $T(d) = 473$  $n1 = C_{ij} * D_{ij} - C_{ij} * X_{ij} = 2849 - 2422 = 427$  $n2 = C_{ij} * D_{ij} - C_{ij} * d_{ij} = 2849 - 2272 = 577$  $n1/n2 * 100\% = 74\%$  $L(x) = 2422$



Умовні позначення:



70 – час

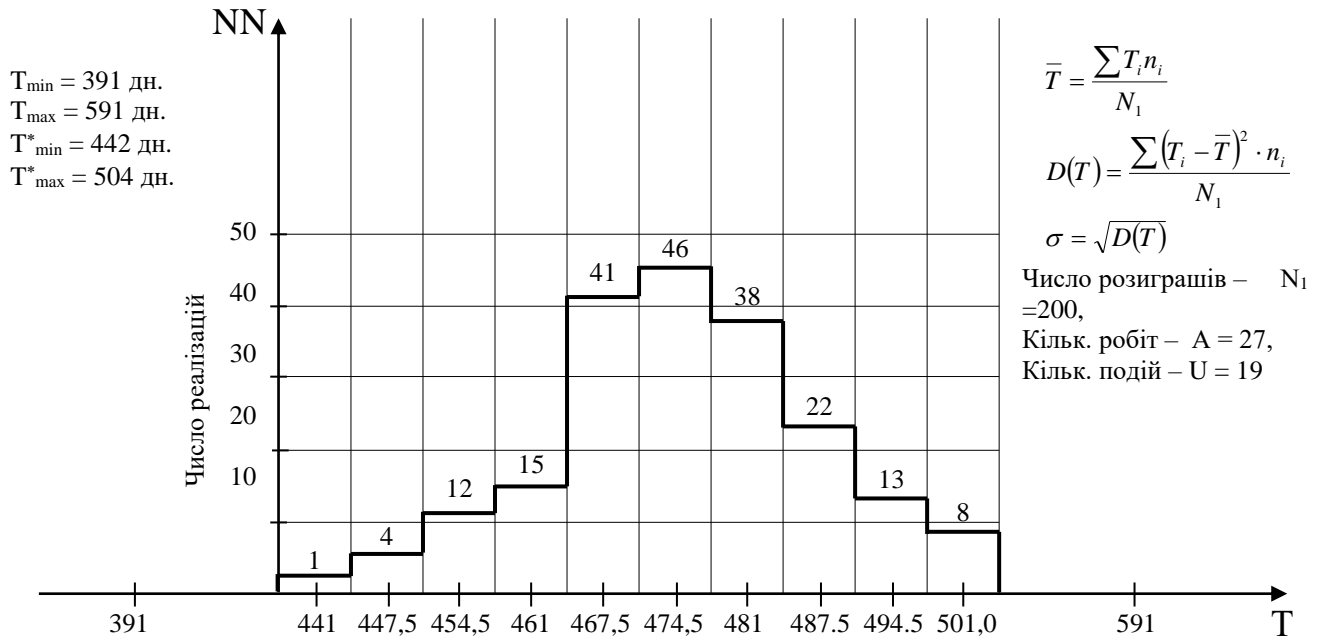
4 – ланка

280 – трудомісткість в чол.-дн.

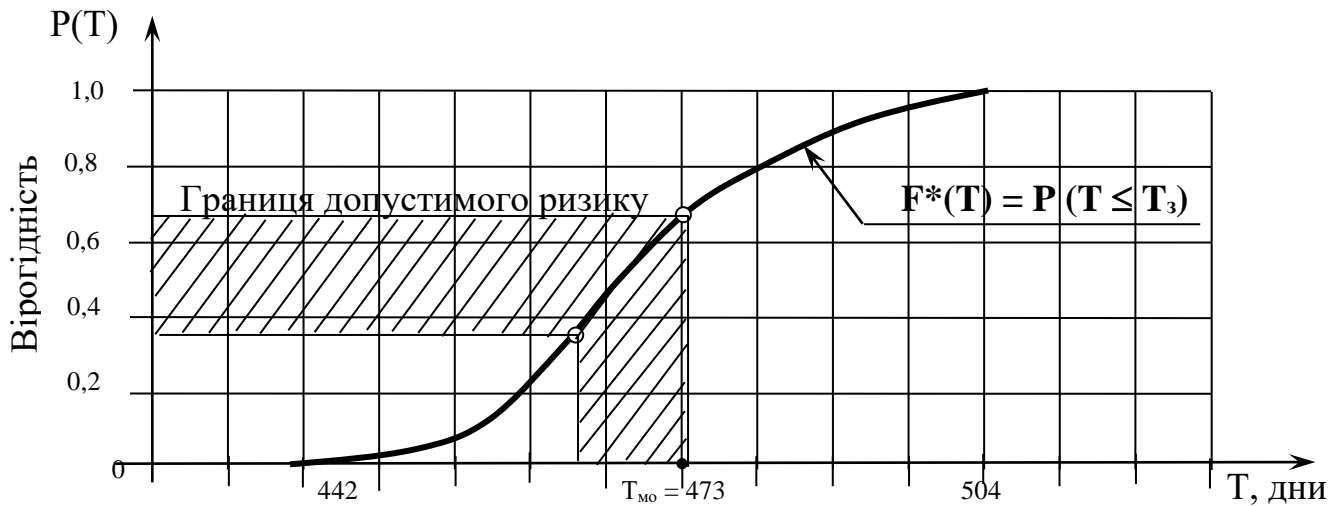
77153 – вартість робіт в грн.

Рисунок 2.5 - Модель складального цеху вагонного депо





а) Гістограма розподілу T



б) Графік статистичної функції розподілу T

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i n_i}{N_1} = \frac{95034}{200} = 475,17$$

$$T_{ii} = \sum P(T)_i \cdot T_i = 472,83$$

$$D(T) = \frac{\sum (T_i - \bar{T})^2 \cdot n_i}{N_1} = \frac{29632,8}{200} = 148,2$$

$$\sigma = \sqrt{D(T)} = \sqrt{148,2} = 12,2$$

Рисунок 2.6 - Визначення організаційно-технологічної надійності рішень

### **3. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОЇ МОДЕЛІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТА В СТРОК**

#### **3.1 Особливості оцінки впливу організаційно-технологічних умов на вироблення рішень в строк**

Для створення умов ефективної реалізації комплексів вже на стадії ОТП ПОСа встановлюються терміни і способи ведення виробництва в цілому, тобто визначається загальна стратегія організації зведення. На стадії організаційно-технологічної підготовки ППР рішення, прийняті в ПОСе, багаторазово уточнюються, конкретизуються з урахуванням реальної обстановки, стадій і умов. Вибір варіантів пов'язаний з урахуванням організаційно-технологічних обмежень, які істотно впливають на ТЗБ. Це способи реалізації при різному складі і числі машин, різної послідовності процесів, різних варіантах розвитку робіт в просторі (уподовж або упоперек будівлі, на повну висоту або ярусами і тому подібне).

Зміна будь-якого параметра (умов організації) призводить до нового варіанту рішення. Варіанти пов'язані з такими вимогами, як тривалість, відкритість фронту робіт, трудовитрати, загальні витрати на виконання робіт.

Найбільш відповідальним моментом є ухвалення рішення. Він найбільш складений і особливо важкий, якщо йдеться про вибір оптимального рішення, в якому порівнюються усі можливі варіанти за певним критерієм.

Завдання вибору ускладнюється багаторазово, оскільки технологія і організація будівельного виробництва характеризуються багатоваріантністю. Як правило, будь-який будівельно-монтажний процес можна організувати із залученням різної техніки і різного числа робітників, в різні терміни і при різній організації робіт.

Так, конструкції каркаса одноповерхового, що несе, багатопролітного пром-будівлі можна змонтувати з використанням різних типів і різної кількості монтажних засобів, різних схем руху кранів по прольотах і секціях, різних методів організації праці при різному складі бригад монтажників, різної послідовності установки і різної міри укрупнення, різній мірі поєднання монтажу з іншими процесами і тому подібне

Тому функція управління ( вибір ОТР - є важкою, складною, що визнано менеджерами всього світу [112, с. 219]. Вихід теорія дослідження операцій бачить у використанні принципово нового підходу до формування і оцінки варіантів рішень ( в економіко-математичному моделюванні (ЕММ). Модель включає рівняння, що зв'язують показники досліджуваного процесу і змінні, варійовані параметри процесу. Чим точніше облік меж зміни змінних величин, тим повніше отримана інформація описує поведінку процесу при зміні його параметрів.

Правильна постановка і рішення оптимізаційних завдань як необхідний елемент в усьому ланцюжку підготовки і ухвалення рішень за технологією і організацією будівництва складає зміст економіко-математичних методів.

Проте організаційно-технологічні обмеження, що вводяться в модель, вимагають чіткого обліку особливостей комплексів, що зводяться, з ними слід звертатися обережно. Мається на увазі, що організація виробництва характеризує послідовність, напрям розвитку і тривалість процесів; техніка визначає для кожного з цих процесів схему виробництва, машини, устаткування і потребу у виконавцях; технологія передбачає порядок виконання процесів, необхідність і необхідну тривалість перерв і інші режими виробництва.

Оскільки завдання, поставлене в розділі 2.3, оперує режимами виробництва ( $d_{ij} - D_{ij}$ ), то на різних стадіях рішення вони визначаються по-різному як організаційно-технологічні обмеження. У КУСГах, які розробляються відповідно до вимог системи СПУ [162], це роблять відповідальні виконавці. Режимми виконання великих комплексів робіт

визначалися на основі їх кошторисної вартості, вироблення, змінності ведення робіт і умов, що склалися, з урахуванням експертних оцінок.

Проте підготовка виробництва виконується в різних розрізах, на різних стадіях, ієрархічних рівнях і з різних позицій. У рамках системотехнічного підходу, без якого немислима комплексна оптимізація, рішення усіх рівнів в усіх розрізах повинні розглядатися як взаємозв'язані, взаємозалежні.

На рівні проекту виробництва робіт організаційно-технологічні умови носять конкретніший характер і визначаються конкретними умовами діяльності організації, структурою робіт, конструктивними особливостями об'єктів, спеціалізацією і наявністю трудових ресурсів відповідної спеціальності і фронту робіт, змінності ведення виробничих процесів, темпів будівництва і загального терміну введення комплексу (рис. 3.1).

**Методи:**

- 1) поєднаний;
- 2) потоковий;
- 3) послідовний.
- 4)
- 5)
- 6)

	1	2	3	4
1	0	1	1	0
2	1	0	1	0
3	1	1	0	1
4	0	0	1	0

**ОПР - ОП**

**Варіанти організації за схемою:**

- 1) горизонтальною;
- 2) вертикальною;\_
- 3) ступінчаста.

1	3	4
2		

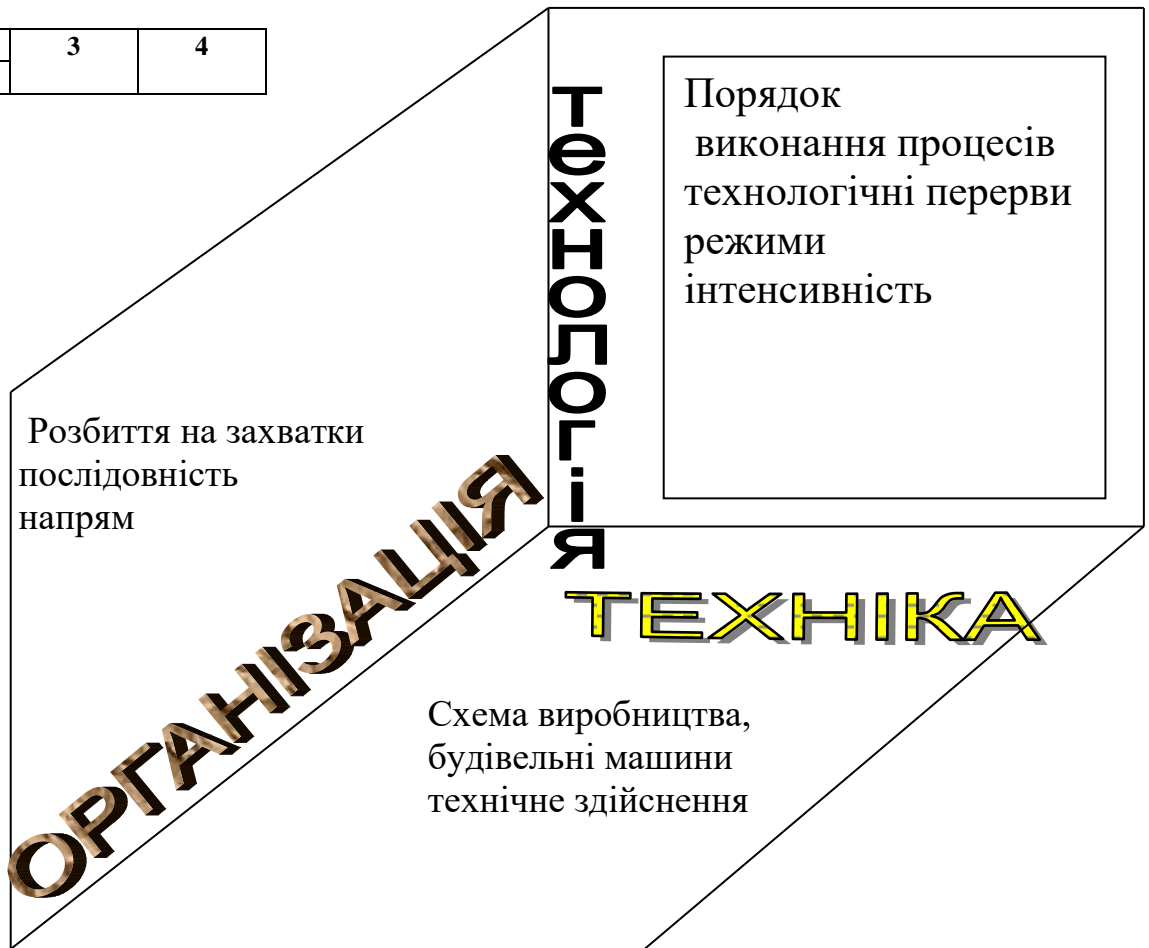


Рисунок 3.1 - Параметри і система вибору рішень організації і ТВЗ при формуванні особливостей умов ( $d_{ij} - D_{ij}$ )

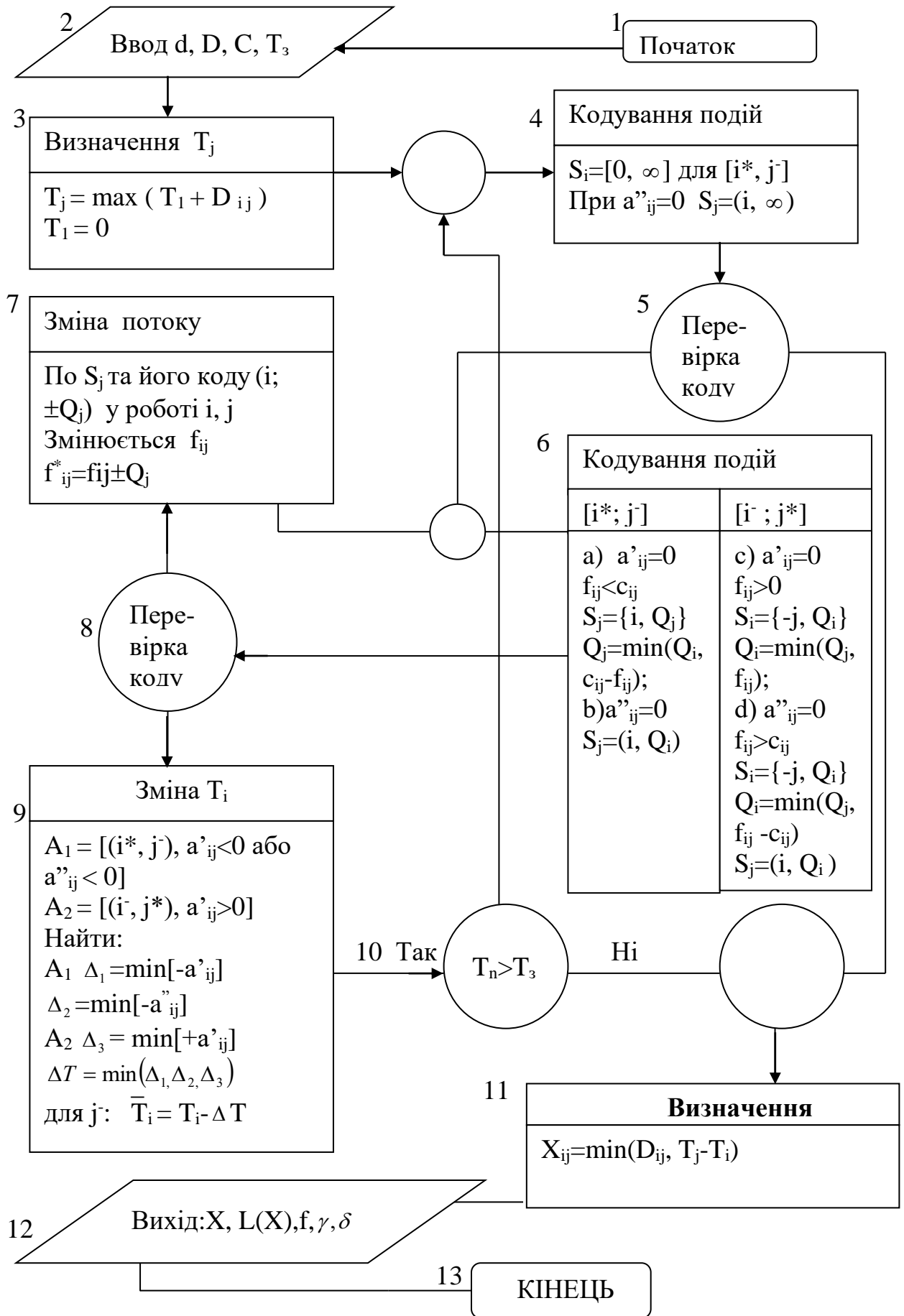


Рисунок 3.2 - Блок-схема алгоритма

### 3.2 Метод рішення задачі на основі пошуку потоку мінімальної вартості в мережах з обмеженою пропускною спроможністю

розробка оптимальних моделей реалізації проєкту в термін заданий інвестором

У сучасному світі бізнесу успішне виконання проєктів вчасно стає ключовим фактором для досягнення конкурентних переваг і стабільного розвитку підприємств. Інвестори, що фінансують ці проєкти, мають певні очікування щодо термінів їх реалізації, оскільки час є одним з найважливіших ресурсів в умовах зростаючої конкуренції і швидкозмінювання ринків.

Цільова орієнтація на виконання проєкту в термін заданий інвестором є викликом для менеджерів і проєктних команд. Вони повинні розробити оптимальну модель реалізації проєкту, яка враховуватиме різноманітні фактори, такі як складність завдання, обмеження ресурсів, зовнішнє середовище та потреби інвесторів. Цей науковий текст пропонує огляд основних підходів до розробки оптимальних моделей реалізації проєкту в термін заданий інвестором, а також наводить приклади успішних практик у цій галузі.

#### 1. Визначення оптимальності моделей реалізації проєкту

Перед розробкою оптимальної моделі реалізації проєкту в термін заданий інвестором необхідно визначити, що розуміється під терміном "оптимальність". Оптимальна модель повинна досягати певних цілей і задовольняти обмеження, забезпечуючи при цьому оптимальне використання ресурсів. Оптимальність може визначатися через такі показники, як тривалість проєкту, вартість реалізації, якість продукту, ризики та інші критерії, відповідно до специфіки конкретного проєкту.

#### 2. Підходи до розробки оптимальних моделей реалізації проєкту

##### 2.1. Метод критичного шляху (Critical Path Method, CPM)

Метод критичного шляху є одним з основних інструментів для планування і контролю проєктів. Він дозволяє ідентифікувати критичний шлях - послідовність завдань, які визначають тривалість проєкту. Розробка оптимальної моделі реалізації проєкту на основі СРМ дозволяє виявити основні ризики і завдання, які мають найбільший вплив на тривалість проєкту, та взяти необхідних заходів для їх управління.

## 2.2. Метод програмування за ресурсами (Resource-Constrained Project Scheduling, RCPSP)

Метод програмування за ресурсами враховує обмеження ресурсів при розподілі завдань у часі. Він дозволяє визначити оптимальний розподіл ресурсів для досягнення цілей проєкту. Розробка оптимальної моделі реалізації проєкту на основі RCPSP дозволяє забезпечити ефективне використання ресурсів і уникнути їх перевантаження, що може спричинити затримки в реалізації проєкту.

## 2.3. Метод кривої навантаження (S-Curve Analysis)

Метод кривої навантаження дозволяє визначити прогнозовані витрати та ресурси, що будуть витрачені протягом тривалості проєкту. Цей метод дозволяє оцінити виконання проєкту у часі і виявити можливі затримки або перевищення вартості. Розробка оптимальної моделі реалізації проєкту на основі S-Curve Analysis дозволяє прогнозувати можливі проблеми і приймати вчасні корективні заходи для досягнення цілей проєкту в термін заданий інвестором.

### Використання ітеративного підходу

Деякі проєкти, особливо у сфері програмного забезпечення, вимагають гнучкості і можливості змін у процесі реалізації. Використання ітеративного підходу, такого як Scrum або Agile, дозволяє розробникам інкрементально вдосконалювати продукт і одночасно забезпечувати виконання проєкту в заданий інвестором термін.

### Використання інструментів управління проєктами

Сучасні інструменти управління проєктами, такі як Microsoft Project або Jira, дозволяють ефективно планувати, контролювати та керувати реалізацією



проектів. Вони надають можливість відстежувати прогрес, розподіляти завдання, контролювати ресурси і спілкуватися у проектній команді. Використання таких інструментів сприяє розробці оптимальної моделі реалізації проекту в термін заданий інвестором.

Розробка оптимальних моделей реалізації проекту в термін заданий інвестором є складним завданням, яке вимагає ретельного планування, використання відповідних методів та інструментів управління проектами. Підходи, такі як CPM, RCPSM та S-Curve Analysis, можуть бути використані для розробки оптимальних моделей реалізації проекту. Крім того, успішні практики, такі як використання ітеративного підходу та інструментів управління проектами, можуть допомогти досягнути цілей проекту в термін заданий інвестором.

Алгоритм починає роботу з максимальною тривалістю проекту  $\tau_{ij} = \mathbf{D}_{ij} \rightarrow \mathbf{T}^D$  і на кожній ітерації оцінюються додаткові витрати, за допомогою яких досягається деяке скорочення  $T_{кр}$  на величину  $\Delta T_i$ . Алгоритм складається з трьох основних кроків. Першим кроком є перевірка можливості скорочення заданої тривалості проекту, тобто дотримання початкової умови.

На другому кроці здійснюється процедура розставляння (кодування) позначок для модифікації в мережі потоків, що відповідають подвійному завданню.

На третьому кроці виконується скорочення тривалості проекту, якщо на другому кроці алгоритму досягається непрорыв, тобто кінцева  $n$ -а подія коду не отримала.

Блок-схема алгоритму показана на рис. 3.2. Цей алгоритм найбільш доступний в такій інтерпретації і компактності [2].

В якості початкових даних приймаємо  $T_1 = 0$ ,  $T_j = \max ( T_i + \mathbf{D}_{ij} )$ , усі дугові потоки  $f_{ij}$  можуть бути прийняті нульовими або дорівнюють якому-небудь іншому значенню. Але тут важлива та обставина, що необхідно забезпечити допустимість початкового варіанту, а вона буде тоді, коли

задовольняється умова збереження потоку в мережі. Нульовий вектор  $f_{ij}$  автоматично забезпечує допустимість. Цьому правилу ми слідуватимемо.

Приймаємо такі позначення:

$i^*, j^*$  – події, що мають позначку (закодована подія);

$i^-, j^-$  – непомічена подія;

$(i^-, Q_j)$  – код  $j$ , складається з двох частин, перша частина коду (позначки) - це номер (код) попередньої події з боку якого помітили  $j$ -е збуття, а  $Q_j$  (друга частина коду, визначається за спеціальними правилами;

$S_j = \{i^-, Q_j\}$  події  $j$  присвоєний код (позначка)  $(i^-, Q_j)$ .

У цій процедурі вузол 1 (початкова подія) має постійну позначку  $(0, \infty)$ .

Процедура розставлення позначок (кодування подій). Розділимо її на дві частини: 1) пряме кодування, тобто збільшення потоку уздовж прямих дуг (робіт) і 2) зворотне кодування, тобто зменшення потоку уздовж зворотних дуг.

## 1. Прямі дуги

1.1. Якщо існує подія  $j$ , що не має коду, і для роботи  $(i, j)$  виконується умова  $a'_{ij} = 0$  та  $f_{ij} \leq C_{ij}$ , то подія  $j$  отримує код  $(i, Q_j)$ ,

$$\text{де } Q_j = \min(Q_i, C_{ij} - f_{ij}). \quad (3.31)$$

Потік  $f_{ij}$  можна збільшити на мінімальне значення, що знаходиться між величиною потоку в  $i$ -том події, і величиною, необхідної для досягнення величини  $C_{ij}$ , яка відбиває обмеження умови на потік.

1.2. Якщо подія  $j$ , що не має коду, таке, що для роботи  $(i, j)$  виконується умова  $a''_{ij} = 0$ , то подія  $j$  отримує позначку  $(+ i, Q_i)$ .

1.3. Якщо для події  $j$ , що не має позначки, умови 1.1 і 1.2 не виконуються, то воно не позначається (залишається без коду).

## 2. Зворотні дуги

2.1. Якщо деяка ще не розглянута подія  $i$  не має коду, тоді як подія  $j$  його має, то, якщо у роботи  $(i, j)$  виконується умова  $a'_{ij} = 0$  та  $f_{ij} > 0$ , подія  $i$  отримає позначку  $(- j, Q_i)$ , де  $Q_i = \min(Q_j, f_{ij})$ . (3.32)

З  $i$ -того події в  $j$ -е можна направити зустрічний потік, величина якого обмежується потоком, вже наявним в  $j$ . Призначення зустрічного потоку полягає в тому, щоб зменшити величину потоку  $f_{ij}$ .

2.2. Якщо для роботи  $(i, j)$  виконується умова  $a''_{ij} = 0$  і  $f_{ij} > C_{ij}$ , та подія отримує позначку  $(-j, Q_i)$ , де  $Q_i = \min(Q_j, f_{ij} - C_{ij})$ . (3.33)

2.3. Якщо умови 2.1 і 2.2 не виконуються, подія  $i$  позначки не отримує.

В результаті застосування процедури позначки кінцеве  $n$ -а подія може отримати її або залишитися без неї. У першому випадку  $n$ -а подія (вузол) має код  $(+k, Q_n)$ , змінюємо потік в мережі на величину другої частини коду, тобто  $f_{ij}^{\text{новий}} = f_{ij}^{\text{ст}} + Q_n$  у напрямі першої частини коду. Після досягнення початкової події починаємо (повторюємо) процедуру нової позначки.

У другому випадку ( $n$ -а подія коду не отримала) набуває чинності процедура зміни термінів звершення подій. Цей етап виконується тільки у тому випадку, коли відбувається непрорыв, тобто коли неможливо помітити  $n$ -а подія (у нашому прикладі це  $U_{106}$ ). Має місце порушення єдності між  $T_{i(j)}$  та  $f_{ij}$ , яке слід усунути. Ця ситуація називається непрорывом. Здається, що рішення зайшло у безвихідь і виходу немає. Проте при виникненні непрорыва існує ще один спосіб пошуку оптимального рішення.

Стан дуги визначається величинами  $a'_{ij}$ ,  $a''_{ij}$ , тобто  $a'_{ij} = T_i + D_{ij} - T_j$ ,  $a''_{ij} = T_i + d_{ij} - T_j$ , вони можуть змінюватися в результаті зміни вузлових чисел (значень  $T_{i(j)}$ ).

За визначенням подвійного завдання, кожній події ставиться у відповідність деяка змінна  $T_{i(j)}$ . При виникненні непрорыва виникає питання: значення яких змінних  $T_{i(j)}$  слід змінити, щоб побудувати шлях з вузла 1 в  $n$ ?

Нагадаємо, що ми почали рух з вузла 1 і хочемо пройти по прямих і зворотних дугах до події  $n$ , але нам алгоритм не дозволяє. Для цього слід усунути причину і привести у відповідність дугові потоки  $f_{ij}$  і вузлові числа  $T_{i(j)}$ . Очевидно, що при виникненні непрорыва існують дві безлічі, що не перетинається, подій, що мають код, і незакодованих. У цій ситуації непрорыва

нас цікавлять тільки ті події, за допомогою яких ми зможемо завершити рух з 1-ої події в  $\mathbf{n}$ -е.

Розглядаються тільки ті значення  $T_{i(j)}$ , які відповідають дугам, що з'єднують позначені події з незначними. Можливі наступні стани дуг:  $(\mathbf{i}^*, \mathbf{j}^*)$ ,  $(\mathbf{i}, \mathbf{j})$ ,  $(\mathbf{i}^*, \mathbf{j})$ ,  $(\mathbf{i}, \mathbf{j}^*)$ . Нас в даному випадку цікавлять тільки дуги  $(\mathbf{i}^*, \mathbf{j})$ ,  $(\mathbf{i}, \mathbf{j}^*)$ , тобто пусть  $U$  - множина вузлів графа, з яких виділяємо  $E$  - множина позначених вузлів  $E \in U$ , а  $\bar{E}$  - множина невідомих вузлів  $\bar{E} \in U$ . Призначення цієї процедури полягає в тому, щоб прискорити час завершення кожного події множини  $E$ .

Якщо  $i \in E$ , то  $j \in E$ . Якщо дуга  $(i, j)$  задовольняє хоча б одному з умов  $\mathbf{a}''_{ij} > 0$ ,  $\mathbf{a}'_{ij} \leq 0$ , тоді час завершення подій може бути скорочено для виконання умов для  $x_{ij}$ , що є необхідним для досягнення оптимальності. Якщо  $\mathbf{B} = \{ (\mathbf{i}, \mathbf{j}) \mid \mathbf{i} \in \mathbf{E}, \mathbf{j} \in \bar{\mathbf{E}}, \mathbf{a}'_{ij} < 0 \text{ або } \mathbf{a}''_{ij} < 0 \}$ ,

$$\text{то } \Delta_1 = \min (x_{ij} = x_{ij} + T_i - T_j < 0).$$

Вираження  $\bar{x}_{ij} = x_{ij} + T_i - T_j$  перетворюємо у вигляді

$$0 = x_{ij} + T_i - (T_j) + \bar{x}_{ij}.$$

З виразу слід, зменшити на  $x_{ij}$  (де  $x_{ij} \leq 0$ ), щоб задовольнити умова, згідно з якою нове значення  $\bar{x}_{ij}$ , що обчислюється при новому  $T_j$ , рівне нулю, що потрібно для забезпечення оптимальності.

Якщо дуга  $(i, j)$  задовольняє одному з умов, що мають значення  $\mathbf{a}'_{ij} > 0$ ,  $\mathbf{a}''_{ij} > 0$ , то час завершення  $j$ -го події можна скоротити, щоб виконувалося умова для  $x_{ij}$ , необхідного для досягнення оптимальності

$$\text{Якщо } \bar{\mathbf{B}} = \{ (\mathbf{i}, \mathbf{j}) \mid \mathbf{i} \in \bar{\mathbf{E}}, \mathbf{j} \in \mathbf{E}, \mathbf{a}'_{ij} > 0 \text{ або } \mathbf{a}''_{ij} > 0 \},$$

$$\text{то } \Delta_2 = \min ( \bar{x}_{ij} = x_{ji} + T_j - T_i > 0 ).$$

Умови  $\bar{x}_{ij} = x_{ji} + T_j - T_i$  перетворюємо у вигляді  $0 = x_{ji} + (T_j - \bar{x}_{ji}) - T_j$ .

Звідки витікає, що  $T_j$  можна скоротити на  $x_{ji}$  ( $\bar{x}_{ji} > 0$ ), щоб задовольнялася умова, згідно з якою нове значення  $x_{ji}$ , визначене при новому  $T_j$ , дорівнює нулю, що забезпечить оптимальність.

Далі визначається  $\Delta T = \min (\Delta_1, \Delta_2)$ , і для усіх подій  $j \in \bar{E}$  (що не мають позначки) змінюються терміни їх звершення на величину величину  $\Delta T$ , тобто  $T_{j}^{\text{нов}} = T_{j}^{\text{ст}} - \Delta T$ .

В результаті зміни усіх значень  $T_j$  (повторимо, що зміні підлягають терміни звершення подій, які не отримали коду в результаті перегляду усіх зв'язних дуг) починаємо процедуру розставляння позначок, в усіх випадках віддається перевага позначкам  $(i, \infty)$ , що веде до скорочення об'ємів обчислень, тобто збіжність прискорюється.

### 3.3 Особливості оцінки економічної ефективності рішення на основі аналізу прямої і двоїстої задач

Для з'ясування економічної суті рішень, отриманих в результаті вибору оптимальних варіантів режимів виробництва робіт, і більшої наочності аналіз доцільно проводити в табличній формі. По-перше, наведені результати зміни функцій мети  $L(x)$  і  $Z(f)$  для підтвердження в даному випадку правильності рішення по ітераціям, а по-друге, необхідно також мати динаміку приросту виконавців при скороченні термінів від  $T = 35$  до  $T_{\text{задан}} = 24$ , щоб показати наочно протікання процесів аналітично і графічно, що відповідає принципу "краще один раз побачити ...". При цьому не потрібно переконувати в тому, що оптимальні рішення гарні, оскільки вони щось дають, тут все очевидно без слів.

Економічний аналіз кінцевої ітерації (оптимального рішення) наведено в табл. 3.1. Результати ітерації, що відображають зміни значення цільової функції  $L(x)$  і  $Z(x)$  – двоїстої наведені в табл.5.2. Відзначимо, що величина, що характеризує кількісні зміни, що відбуваються в моделі (системі, проект) на шляхах руху до мети, називається критерієм оптимальності.

Раніше були розглянуті вимоги, що пред'являються до критеріїв оптимальності. На наведеному прикладі є можливість простежити за змінами не

тільки  $L(x)$  в явному її вигляді, а й за її відображенням в  $\Sigma \Delta n_{ij}$  – мінімізації залучення сумарних трудових ресурсів при дотриманні  $T_3$ .

Цільова функція прямої задачі  $L(x) = \Sigma C_{ij} x_{ij} = 244$  чол.-дн., залучення виконавців з урахуванням вибору рішення на основі оптимізації процесу

$$\Sigma \Delta n_{ij} = \Sigma C_{ij} D_{ij} - \Sigma C_{ij} x_{ij} = 312 - 244 = 68 \text{ чол. -дн.}$$

У традиційних методах планування залучення виконавців становить 109 чол.-дн. – 100%, а в оптимальному рішенні – 62,4%.

Двоїста задача. Цільова функція:

$$Z(f) = TV + \Sigma D_{ij} \gamma_{ij} - \Sigma d_{ij} \delta_{ij} - \min.$$

Таблиця 3.1 - Економічний аналіз рішення

i,j	$d_{ij}$	$D_{ij}$	$x_{ij}$	$C_{ij}$	$f_{ij}$	$C_{ij}x_{ij}$	$C_{ij}D_{ij}$	$C_{ij}d_{ij}$	$\gamma_{ij}$	$\delta_{ij}$	$\gamma_{ij}D_{ij}$	$\delta_{ij}d_{ij}$
101-102	4	8	4	3	7	12	24	12	2	4		16
101-103	6	10	6	2	6	12	20	12		4		24
102-104	7	12	11	4	4	44	48	28				
102-105	8	12	10	3	3	30	36	24				
103-104	9	12	9	4	4	36	48	36				
103-105	5	8	8	3	2	24	24	15	1		8	
104-106	9	13	9	4	8	36	52	36		4		36
105-106	8	12	10	5	5	50	60	40				
						244	312	203			8	76

Як зазначено раніше,  $V$  - двоїста змінна,  $T$  – це сумарний потік, що виходить з джерела, тобто з  $U_{101}$ :  $V = f_{101-102} + f_{101-103} = 6 + 7 = 13$ , або те ж саме, що потік, що входить в джерело (кінцеве  $n$ -е подія,  $U_n = 106$ ),  $V = f_{104-106} + f_{105-106} = 8 + 5 = 13$ . Як видно з прикладу, умова збереження потоку дотримується в кожній події (скільки одиниць потоку входить в проміжне подія, стільки виходить з нього).

Двойственные переменные оценок  $D_{ij} \Rightarrow \gamma_{ij}$ ,  $d_{ij} \Rightarrow \delta_{ij}$ .

Вони визначаються наступним чином. Оскільки  $D_{ij} \neq d_{ij}$ , то  $\gamma_{ij} \geq 0$  в разі, якщо  $x_{ij} = D_{ij}$ , при цьому  $\delta_{ij} = 0$  і  $\gamma_{ij} \geq 0$  в разі, якщо  $x_{ij} = d_{ij}$ , при цьому  $\gamma_{ij} = 0$ . Якщо  $d_{ij} < x_{ij} < D_{ij}$ , то  $\gamma_{ij} = \delta_{ij} = 0$ . На основі наведених виразів і міркувань і за даними табл. 3.1 цільова функція двоїстої задачі становить  $Z(f) = 24 \cdot 13 + 8 - 76 = 312 + 8 - 76 = 244$ .

При порівняти  $Z(f)$  і  $L(x)$  видно, що завдання виконане вірно і ніяких інших міркувань не виникає, крім одного, якщо цільові функції рівні, то змінні, відповідні їм, мають оптимальне значення. Двоїсті оцінки визначаються наступним чином.

По роботі (101-102)  $x_{101-102} = 4 = d_{101-102}$ , тому  $\gamma_{101-102} = 0$ , а  $\delta_{101-102} = \max(0, f_{101-102} - C_{101-102}) = \max(0, 7-3) = 4$ .

По роботі (101-103)  $x_{101-103} = 6 = d_{101-103}$ , тому  $\gamma_{101-103} = 0$ , а  $\delta_{101-103} = \max(0, f_{101-103} - C_{101-103}) = \max(0, 6-2) = 4$ .

По роботі (102-104)  $x_{102-104} = 11$ ,  $7 \leq x_{102-104} \leq 12$  тому  $\gamma_{102-104} = \delta_{102-104} = 0$ .

По роботі (102-105)  $x_{102-105} = 10$ ,  $8 \leq x_{102-105} \leq 12$ , тому  $\gamma_{102-105} = \delta_{102-105} = 0$ .

По роботі (103-104)  $x_{103-104} = 9 = d_{103-104}$ , тому  $\gamma_{103-104} = 0$ , а  $\delta_{103-104} = \max(0, f_{103-104} - C_{103-104}) = \max(0, 4 - 4) = 0$ .

По роботі (103-105)  $x_{103-105} = 8 = D_{103-105}$ , тому  $\delta_{103-105} = 0$ , а  $\gamma_{103-105} = \max(0, C_{103-105} - f_{103-105}) = \max(0, 3-2) = 1$ .

По роботі (104-106)  $x_{104-106} = 9 = d_{104-106}$ , тому  $\gamma_{104-106} = 0$ , а  $\delta_{104-106} = \max(0, f_{104-106} - C_{104-106}) = \max(0, 8 - 4) = 4$ .

По роботі (105-106)  $x_{105-106} = 10$ ,  $8 \leq x_{105-106} \leq 12$ , тому  $\gamma_{105-106} = \delta_{105-106} = 0$ .

При певних навичках обчислення подвійних змінних  $\gamma_{ij}$ ,  $\delta_{ij}$  не представляє непереборних труднощів. Результат рішення подвійної задачі (оцінки  $f_{ij}$ ) невід'ємний від знаходження прямих оцінок  $x_{ij}$  незалежно від методу рішення, наприклад, в симплекс-методі ці змінні виходять в рядку подвійних оцінок. Знайомство з методами рішення завдань лінійного програмування показує, що потокові алгоритми, засновані на ідеї спеціальної позначки подій, мають істотну перевагу перед іншими алгоритмами. Крім того, наочна і обзрима фізична і економічна інтерпретація завдань. Уявна трудність в засвоєнні алгоритму полягає в тому, що у своїй більшості відсутні

навички і знання по лінійній алгебрі, уміння транспонувати матриці і закономірності перетворення (постановок) прямих і подвійних завдань лінійного програмування.

Для практичної роботи знання алгоритму позначок може посприяти в об'єктивній оцінці ситуації по задачі об'єктів в експлуатацію.

Так, якщо об'єкт споруджується з порушенням термінів як заданих, так і планових, то на будь-якій його стадії можна виробити рішення, яке мінімізує зусилля на його зведення. Це здійснюється наступним чином. Визначаються залишкові обсяги робіт і їх трудомісткість, встановлюються можливі технологічні режими виробництва в нормальних умовах і прискорені. На основі процедури розстановки позначок визначаємо рішення, в якому  $T_n \leq T_3$ . Що значить визначити рішення задачі в даному випадку? Це означає, що встановлені ті змінні величини  $x_{ij}$ , максимізує (мінімізують) цільову функцію  $L(x)$ . Таким чином, визначивши невідомі  $x$  і  $j$ , ми цим самим отримуємо екстремальне значення цільової функції, в нашому прикладі для прямої задачі  $L(x) = \sum C_{ij} x_{ij} \Rightarrow \max$  і для двоїстої

$$Z(f) = \mathbf{TV} + \sum \mathbf{D}_{ij} \gamma_{ij} - \sum \mathbf{d}_{ij} \delta_{ij} \Rightarrow \min.$$

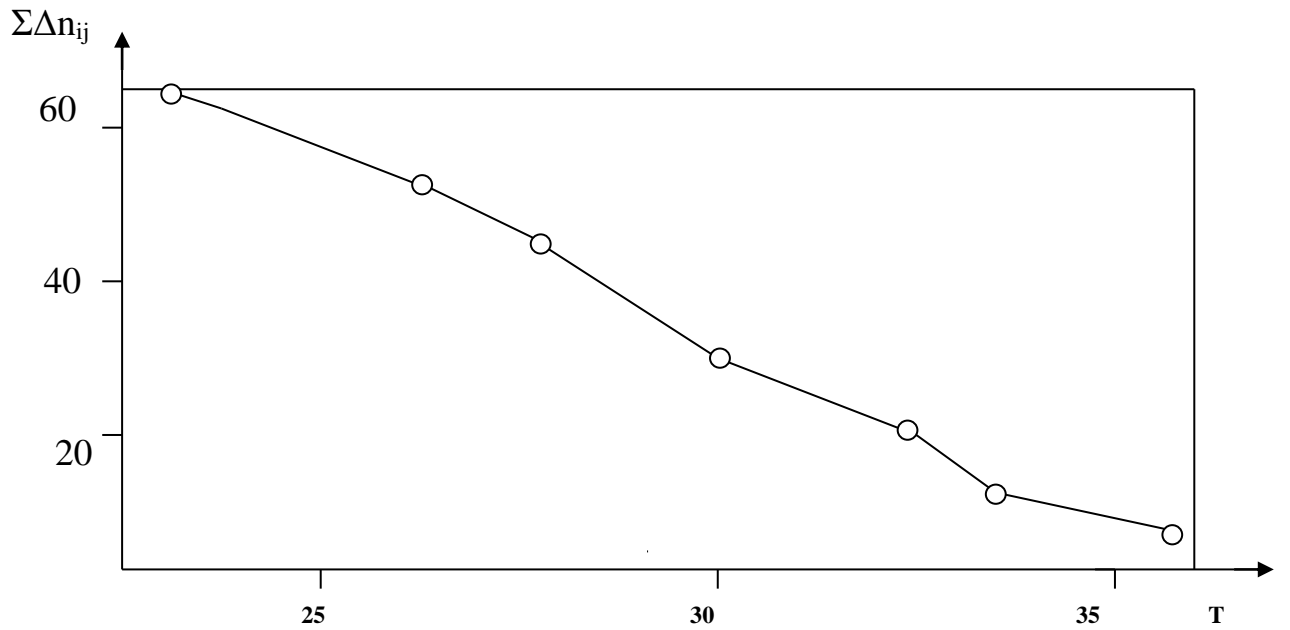
Значення  $x_{ij}$  означають режим виконання робіт  $(i, j) \in A$ , при яких дотримується заданий термін будівництва, а зусилля на досягнення мети будуть мінімальними.

Якщо є всі ітерації рішення, то сумарне зусилля на реалізацію проекту можна ще отримати на основі міркувань, наведених в табл. 3.3. Цей результат збігається з даними, отриманими в табл. 3.2. Математично це і є значення цільової функції двоїстої задачі.



Таблиця 3.3 - Визначення сумарного приросту виконавців

Ітерація	$T_{106}$	$f = \Sigma f$	скорочення тривалості $\Delta T_i$	$\Delta T \cdot f$	сума збільшення $\Delta n_{ij}$
1	35	2	2	4	4
2	33	4	1	4	8
3	32	5	2	10	18
4	30	7	2	14	32
5	28	7	2	14	46
6	26	9	1	9	55
7	25	13	1	13	68
8	24	Прекращение	вычислений		

Рисунок 3.3 - Графік залежності  $\Sigma \Delta n_{ij}$  від  $T$

## ВИСНОВКИ

Зведення великих об'єктів народного господарства, розширення діючих або їх реконструкція робиться на основі нормативів, де терміни обґрунтування будівництва встановлюються в ПОС шляхом розробки КУСГа, що відбиває складну технологію виробництва робіт і загальний порядок і послідовність зведення.

Загальні висновки по главі зводяться до наступного.

1. Зроблений аналіз досліджень і практичного досвіду зведення складних комплексів, який показав, що відсутність варіантного обґрунтування і відповідності ОТР, недооцінка вірогідності потенційних результатів, ігнорування необхідності обліку нових складних чинників (міжсистемних зв'язків в підготовці СП) в умовах відсутності достатньої релевантної інформації ставлять на перший план завдання обґрунтування ОТР виробництва на стадії розробки технічного проекту в ПОСе.

Таке рішення приймається в умовах ризику, і найбільш дієвий спосіб визначення вірогідності (об'єктивність. Вірогідність об'єктивна, коли її можна визначити математичними методами або шляхом статистичного аналізу накопиченого досвіду, який відсутній в складних проектах.

2. В результаті виконання досліджень розроблена економіко-математична модель будівництва складних об'єктів в строк на основі пошуку потоків мінімальної вартості в мережах з обмеженою пропускнуою спроможністю. Методика враховує організаційно-технологічні особливості зведення і багатоваріантну природу завдання.

3. Запропонований критерій оптимальності рішення (математичний сенс) полягає в мінімізації сумарного залучення додаткових ресурсів для будівництва комплексу в строк і визначається на основі використання ефективного алгоритму пошуку максимального потоку в мережах з обмеженою пропускнуою спроможністю шляхом спеціального кодування подій.

Наукова новизна розділу полягає в детальному теоретичному і практичному дослідженні подвійного завдання в мережевій інтерпретації і визначенні її змінних -  $f_{ij}$ ,  $(i, j)$ ,  $(i, j)$ . Це уперше дозволило дати чітку економіко-математичну інтерпретацію рішення, повніше дізнатися і зрозуміти діалектичну єдність прямих і подвійних оцінок в завданнях мережевої структури. Запропонований підхід виявляє правильність як постановки завдання, так і її методу рішення, що не практикувалося раніше. Такі дослідження відсутні як у вітчизняній, так і доступній зарубіжній літературі.

5. Фізичний сенс завдання полягає у встановленні такої швидкості виробництва комплексів робіт, при якій досягається максимальний ефект проекту. Математично вона зводиться до завдання оптимального програмування, в розділі запропоновано моделювання зведення на мережевій структурі, яка має математичний аналог (граф). Порівняння рішення задачі симплекс-методом і в мережевій структурі виявило переваги і можливості мережевого рішення, а також розкрило недоліки традиційного методу.

6. Переваги полягають в ефективному методі рішення, наявності фізичного сенсу моделі, швидкій збіжності у визначенні оптимального рішення, а можливості мережевої структури великі і дозволяють при необхідності і відповідних обставинах відносно легко виконувати агрегацію моделі, зводити її до різних розмірів і рівнів управління.

Недоліки традиційного рішення пов'язані з труднощами стандартизації завдання, ручна реалізація практично виключається.

7 Створена методика рішення задачі вироблення оптимальних рішень в строк може використовуватися успішно у внз України (наш досвід ( 20 років), в основах менеджменту для обґрунтування реалізації проектів, програм, що мають мережеву структуру і реалізуються з використанням програмно-цільового управління для координації численних (більше тисячі) учасників створюваних проектів.

Наші дослідження мають правильну економіко-математичну постановку завдання, мету якого ( здати складний проект в строк, модель і метод рішення, послідовність рішення, що відповідає прийнятим міжнародним стандартам.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бушуев С.Д. Автоматизирование системы управления строительством / С.Д. Бушуев, В.С. Михайлов, С.Д. Лямка. Київ: Будівельник, 1989. 254с.
2. Бушуев С.Д., Морозов В.В. Динамическое лидерство в управлении проектами: монография. 2-е изд. Київ.: Украинская ассоциация управления проектами, 2000. 312 с.
3. Бушуев С.Д., Бушуева Н.С. Управление проектами: Основы профессиональных знаний и система оценки компетентности проектных менеджеров. National Competence Baseline, NCB UA Version 3.0. Київ: ІРІДУМ, 2014. 208 с.
4. Голубов С.В. Об управлении в строительстве. Опыт, анализ, рекомендации. Київ: Будівельник, 1987. 225с.
5. ДБН А.2.2-3-2004 «Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва» Державний комітет України у справах містобудування і архітектури. Київ, 2004. – 31 с.
6. Данциг Дж., Фалкерсон Д.Р. Теорема о максимальном потоке и минимальном разрезе в сетях. В кн.: Линейные неравенства и смежные вопросы: пер. с англ./ под ред. Л.В. Канторовича и В.В. Новожилова. Москва: Ил., 1969. С. 318–324.
7. Кирнос В.М., Залуин В.Ф., Дадиверина Л.Н. Организация строительства. Днепропетровск: «Пороги», 2005. 309с.
8. Колпаков В.М. Теория и практика принятия управленческих решений: учеб. пособие. Киев.: МАУП, 2000. 256с.
9. Иванов Ю.Б., Тищенко А.Н., Дробитько Н.А., Абрамова О.С. Конкурентоспособность предприятия: оценка, диагностика, стратегия. Харьков: ХНЭУ, 2004. 255с.

- 10.Ландик В.И. Инновационная стратегия предприятия: проблемы и опыт их решения. Киев: Наук. думка, 2003. 363 с.
- 11.Лавренко В.В. Реструктуризація промислових підприємств і формування їх інвестиційного потенціалу: автореф. дис.... канд. екон. наук: 08.06.01./ В.В. Лавренко. Київ, 2000. 17с.
- 12.Молоканова В.М. Інструменти управління реалізацією інноваційних проектів в умовах діючого підприємства: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.22 “Управління проектами та програмами” / В.М. Молоканова. Київ, 2007. 19с.
- 13.Морозов В.В. Чередніченко А.М., Шпильова Т.І. Формування, управління та розвиток команди проекту (поведінкові компетенції): навч. посіб. / за ред. В.В. Морозов. Киев: Таксон, 2009. 464 с.
- 14.Немцов В. Д., Довгань Л. Є., Сініок Г. Ф. та ін. Менеджмент організацій: навч. посібник. Київ: ЕксОб, 2001. -388 с.
- 15.Павлов И. Нельзя предотвратить, но можно контролировать URL: [http://www.iteam.ru/publications/project/section\\_36/article\\_2738/](http://www.iteam.ru/publications/project/section_36/article_2738/)
- 16.Павлов И. Д. Модели управления проектами: учеб. пособие. Запорожье.: ЗГИА, 1999. 316 с.
- 17.Павлов И.Д., Кучеренко О.М. Управление проектами и оптимизация решений: конспект лекций. Запорожье: Издательство ЗГИА, 2006. 85 с.
- 18.Радкевич А.В., Павлов І.Д. Багатоцільові моделі організації капітального відновлення об’єктів: монографія. Дніпропетровськ, 2003. 225с.
- 19.Рач В.А., Калюжный В.В. Інновації в проектній діяльності та закономірності “провалів” продуктів проектів. *Управління проектами і розвиток виробництва: зб. наук. пр. Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля: під ред. В.А. Рач. 2007. №3(23). С. 31-41.*
- 20.Рогожин П.С., Гойко А.Ф. Економіка будівельних організацій. Київ: Видавничий дім „Скарби”, 2001. 448с.
- 21.Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК). Project Management Institute, Four Campus Boulevard, Newtown

- Square, Pennsylvania 19073-3299 USA / США: пер. с англ. 3-е изд. 2014. 389 с.
- 22.Руководство по управлению инновационными проектами и программами / пер. на рус. язык под ред. С.Д. Бушуева. Київ: Науковий світ, 2010. Т. 2. версія 1.2. 173 с.
- 23.Система сетевого планирования и управления в строительстве. Руководство по разработке и применению системы СПУ. Минтяжстрой, Минмонтаж-спецстрой, Минчермет Украины и др. Київ: Будівельник, 1980. 192с.
- 24.Тарасюк Г.М. Управління проектами: навч. посіб. Київ: Каравелла, 2006. 320 с.
- 25.Тян Р.Б. та ін. Управління проектами: підручник для студентів ВНЗ. Київ Центр навчальної літератури, 2004. 221 с.
- 26.Техническое регулирование в строительстве. Аналитический обзор мирового опыта : Snip Innovation Technologies ; рук. Серых А. Чикаго: SNIP, 2010. 889 с.
- 27.Довгань Л.Є., Мохонько Г.А., Малик І.П. Управління проектами: навчальний посібник. Київ: КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2017. 420 с.
- 28.Федоровский В. А. Стратегия финансового оздоровления предприятия. Николаев: НЦП "ЭОЛИС", 1999. - 67 с.
- 29.Шевчук В.Я., Рогожин П.С. Основы инвестиційної діяльності. Київ: Генеза, 1997.384 с.
- 30.Шипулін О.І. Методи планування людських ресурсів проекту на основі функціонального резервування: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.22 “Управління проектами та програмами”. Харків, 2009. 20 с.