DOI: 10.32347/2076-815x.2026.91.366-379
УДК 005.8:519.21:519.24

Блонний А.В.,
blonnyya@gmail.com, ORCID: 0009-0006-4565-8625,
Київський національний університет будівництва і архітектури

КОНСТРУЮВАННЯ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ТРИВАЛОСТІ ВИКОНАННЯ ПРОЄКТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СТОХАСТИЧНИХ ТА ЙМОВІРНІСНИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ РИЗИКІВ

Оцінка тривалості виконання проєктів є одним із ключових завдань управління проєктами, оскільки саме точність прогнозування строків значною мірою визначає ефективність використання ресурсів, дотримання календарних планів і загальний успіх реалізації проєкту. В умовах зростання складності проєктів, високої мінливості зовнішнього середовища та наявності численних ризиків традиційні детерміновані підходи до оцінки тривалості виявляються недостатніми. Це зумовлює необхідність застосування стохастичних та імовірнісних методів, які дозволяють ураховувати невизначеність, варіативність параметрів і вплив ризиків на строки виконання робіт.

Розглянуто підходи до конструювання моделей оцінки тривалості виконання проєктів із використанням стохастичних і ймовірнісних методів. Показано, що такі моделі забезпечують більш реалістичне прогнозування, оскільки формують не фіксоване значення строку завершення проєкту, а розподіл імовірностей можливих сценаріїв. Особливу увагу приділено аналізу методів Монте-Карло, нормального та Бета-розподілів, які широко застосовуються для моделювання тривалості робіт у проєктах з високим рівнем невизначеності.

Обґрунтовано доцільність використання стохастичних моделей для оцінювання впливу ризиків на строки виконання проєктів. Наведено аналітичні залежності, що дозволяють враховувати ймовірність виникнення ризикових подій, величину можливих втрат і кореляцію між ризиками та тривалістю виконання робіт. Показано, що застосування таких моделей дає змогу не лише прогнозувати середню тривалість проєкту, а й оцінювати чутливість строків до змін окремих ризиків та ідентифікувати критичні етапи.

Ключові слова: оцінка тривалості проєктів; стохастичні моделі; імовірнісні підходи; управління ризиками; метод Монте-Карло; прогнозування строків; невизначеність; чутливість проєктів.

Постановка проблеми: Прогнозування тривалості виконання проєктів є складним управлінським завданням, яке ускладнюється наявністю численних джерел невизначеності. У реальних умовах реалізації проєктів строки виконання робіт залежать не лише від планових параметрів, але й від впливу зовнішніх та внутрішніх факторів, таких як зміна умов виконання робіт, технічні збої, коливання ресурсного забезпечення та ризики різної природи. Застосування детермінованих підходів у таких умовах призводить до заниження або завищення прогнозних строків і, як наслідок, до порушення графіків та перевитрат ресурсів.

Проблема полягає у відсутності універсальних інструментів, які дозволяли б ураховувати варіативність і ймовірнісну природу тривалості робіт при плануванні проєктів. Недостатня інтеграція ризик-орієнтованих підходів у процес оцінки строків знижує адаптивність управлінських рішень. У зв'язку з цим актуальним є розроблення та застосування стохастичних і імовірнісних моделей, здатних забезпечити більш точне прогнозування тривалості проєктів з урахуванням ризиків і невизначеності.

Метою статті є обґрунтування підходів до конструювання моделей оцінки тривалості виконання проєктів із використанням стохастичних та імовірнісних методів прогнозування та аналізу ризиків. Досягнення поставленої мети передбачає аналіз можливостей застосування стохастичних моделей для врахування варіативності строків виконання робіт, узагальнення методів оцінки впливу ризиків на тривалість проєктів, а також визначення переваг і обмежень основних імовірнісних підходів. Особлива увага приділяється формуванню аналітичних залежностей, що дозволяють підвищити точність прогнозів і підтримати прийняття обґрунтованих управлінських рішень у проєктному менеджменті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: У наукових дослідженнях з управління проєктами значну увагу приділено проблемам прогнозування тривалості та аналізу ризиків. Класичні підходи, засновані на методах CPM і PERT, заклали основу для планування строків, однак їх детермінований характер обмежує можливості врахування невизначеності. У подальших роботах розвиток отримали стохастичні моделі, що базуються на використанні ймовірнісних розподілів тривалості робіт. Суттєвий внесок у розвиток імовірнісного підходу зробили дослідження, присвячені методу Монте-Карло, який дозволяє формувати розподіли ймовірностей строків завершення проєктів і аналізувати сценарії розвитку подій. Також широко використовуються нормальний та Бета-розподіли, які застосовуються залежно від характеру обмежень і симетрії варіацій тривалості. Окремий напрям досліджень пов'язаний з інтеграцією ризик-менеджменту у моделі оцінки тривалості.

Виклад основної інформації: Оцінка тривалості виконання проєктів є важливою складовою управління проєктами, оскільки вона безпосередньо визначає ефективність, вартість та дотримання термінів. Однак процес прогнозування тривалості завжди пов'язаний з певним рівнем невизначеності, оскільки вплив на терміни можуть мати різноманітні фактори, такі як зміни в умовах виконання робіт, вплив погодних умов або непередбачувані технічні проблеми. Тому для підвищення точності прогнозів застосовуються стохастичні та імовірнісні підходи, які дозволяють не лише оцінювати тривалість, а й враховувати можливі варіації та ризики.

Стохастичні моделі для оцінки тривалості робіт є основою для більш реалістичного прогнозування в умовах невизначеності. Використання таких підходів дозволяє створювати більш точні та адаптивні прогнози, враховуючи ймовірність різних сценаріїв та факторів, що можуть вплинути на терміни завершення проекту [1]. До таких моделей відносяться методи Монте-Карло, розподіл Бета, а також ймовірнісні методи аналізу ризиків, які дають змогу не тільки розраховувати прогнозовані строки, а й оцінювати рівень ризику. У таблиці 1 наведені основні методи оцінки тривалості виконання проєктів з описом їх особливостей, переваг та обмежень.

Таблиця 1.

Основні методи оцінки тривалості проектів
(розроблено автором на основі [1])

Метод	**Опис**	**Переваги**	**Недоліки**
Детермінований	Оцінка за фіксованими параметрами	Прості у використанні	Не враховують ризики
Стохастичний	Моделювання з варіативністю	Враховує невизначеність	Складність розрахунків

Враховуючи вищезазначене, для точнішого прогнозування необхідно використовувати стохастичні підходи, які дозволяють моделювати різні сценарії виконання робіт з урахуванням можливих ризиків і варіативності. Рисунок 1 ілюструє основні відмінності між детермінованим і стохастичним підходами до оцінки тривалості проєктів. Перший метод передбачає фіксовані значення для тривалості всіх етапів проєкту, тоді як стохастичний підхід враховує ймовірнісні варіації для кожного етапу [2].

Оцінка тривалості виконання проєктів є складним і багатогранним процесом, який потребує врахування як детермінованих, так і стохастичних факторів.

Один із найважливіших аспектів, які впливають на оцінку тривалості, є ризики, пов'язані з виконанням робіт. Невизначеність у термінах виконання

часто зумовлена зовнішніми факторами, які можуть змінюватися, що потребує гнучкості в плануванні. Ризики можуть бути як зовнішніми, так і внутрішніми, і включають в себе фактори, такі як зміни в умовах ринку, зміни в законодавстві, а також технічні проблеми, що виникають на етапі виконання робіт [3].

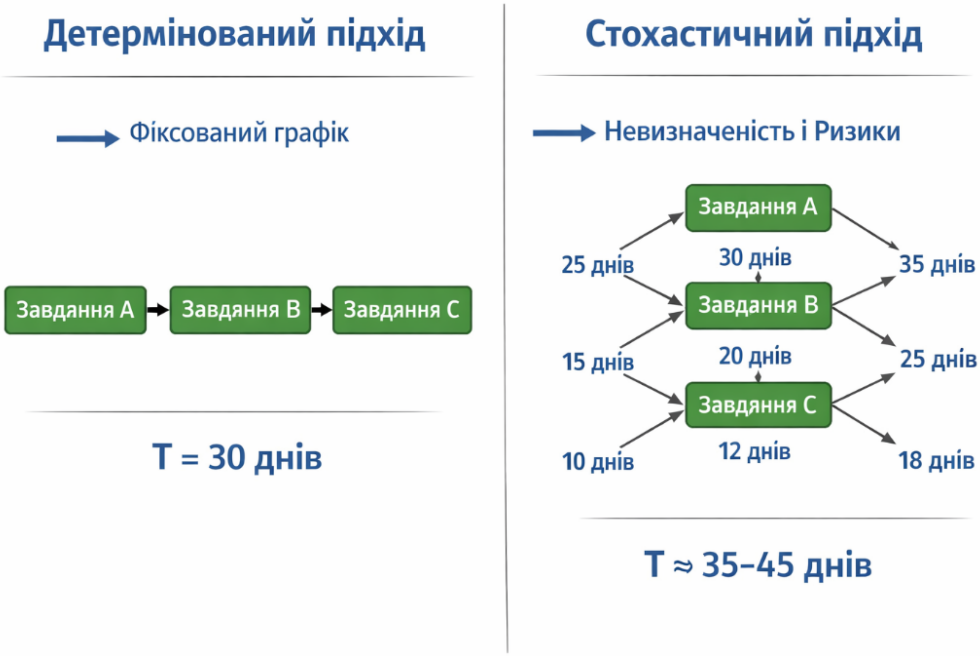

Рис. 1. Детермінований та стохастичний підхід у моделюванні тривалості проєкту *(розроблено автором на основі [2])*

Для більш точного прогнозування тривалості, використання стохастичних моделей є необхідним. Це дає змогу оцінити не лише ймовірні терміни виконання, а й ймовірність того, що терміни будуть змінюватися залежно від зовнішніх умов. У таблиці 2 надано характеристику основних стохастичних моделей, що використовуються для оцінки тривалості виконання проєктів.

Таблиця 2.

Характеристики стохастичних моделей для оцінки тривалості *(розроблено автором на основі [3])*

Модель	**Опис**
Нормальний розподіл	Використовується для оцінки стандартної варіації
Розподіл Бета	Оцінка для проектів з конкретними часовими обмеженнями

Нормальний розподіл зазвичай використовується в ситуаціях, де розподіл часу виконання робіт є симетричним, тобто де ймовірність відхилення часу виконання в більшу чи меншу сторону є однаковою. Розподіл Бета застосовується у випадках, коли оцінка має обмеження в часі, наприклад, в

рамках чітко визначеного інтервалу часу для виконання робіт. Рисунок 2 демонструє графічне представлення ймовірнісного розподілу для оцінки тривалості виконання робіт [4]. Це дозволяє побачити, як змінюється ймовірність виконання робіт у різний час і яка тривалість є найбільш ймовірною.

У реальних умовах будівельного проєкту часто виникають непередбачувані фактори, що можуть вплинути на його тривалість. З цієї причини для точного прогнозування тривалості проєктів необхідно застосовувати стохастичні моделі, які дозволяють врахувати варіативність і невизначеність.

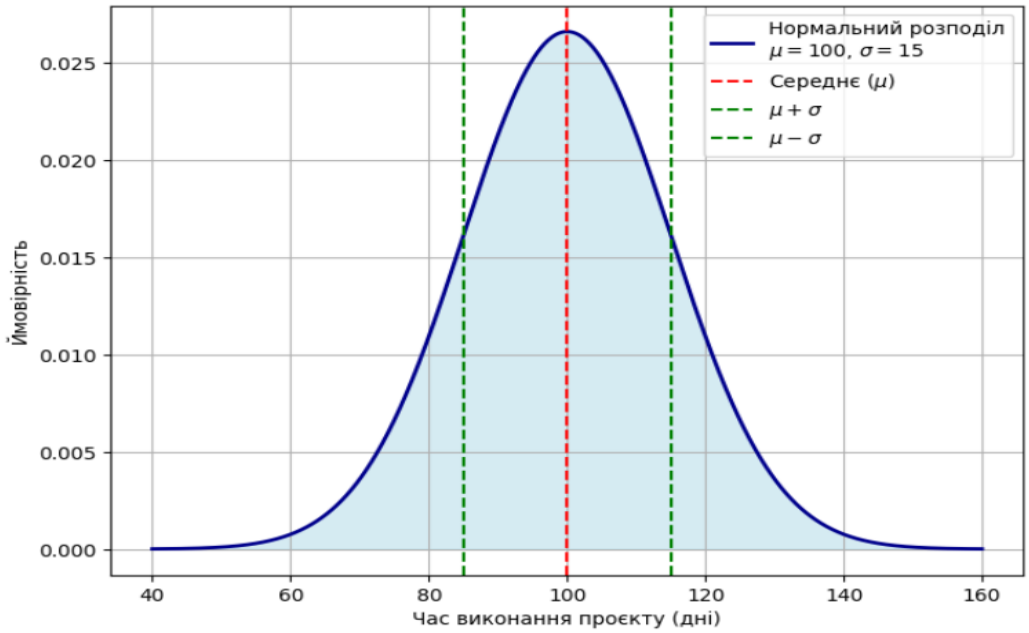

Рис. 2. Графік розподілу ймовірностей тривалості проєкту
(розроблено автором на основі [4])

Метод Монте-Карло є одним із найефективніших інструментів для прогнозування тривалості проєктів у випадку невизначеності. Цей метод ґрунтується на чисельному моделюванні, яке дозволяє генерувати численні сценарії розвитку подій та оцінювати ймовірність кожного з них. В результаті отримуємо розподіл ймовірностей, що дає змогу врахувати варіативність термінів виконання робіт [5]. Оцінка середньої тривалості проєкту за допомогою методу Монте-Карло. Для оцінки середньої тривалості проєкту можна використовувати таку формулу:

$$T_{proj} = \sum_{i=1}^{n} t_i + R_i \times \Phi(\mu_i, \sigma_i), \quad (1)$$

де T_{proj} — прогнозована тривалість проєкту, t_i — планова тривалість роботи i, R_i — коефіцієнт впливу ризиків на роботу, $\Phi(\mu_i,\sigma_i)$ — функція нормального розподілу з математичним сподіванням μi\mu_iμi та стандартним відхиленням σ_i.

Ця формула дає змогу враховувати ймовірні зміни в тривалості кожного етапу проєкту в залежності від ризиків, що виникають під час його реалізації.

Рисунок 3 ілюструє, як виглядає розподіл ймовірностей тривалості проєкту, отриманий за допомогою методу Монте-Карло. На графіку показано варіативність тривалості виконання проєкту в різних сценаріях, що дозволяє оцінити, наскільки ймовірно буде дотримано заплановані терміни.

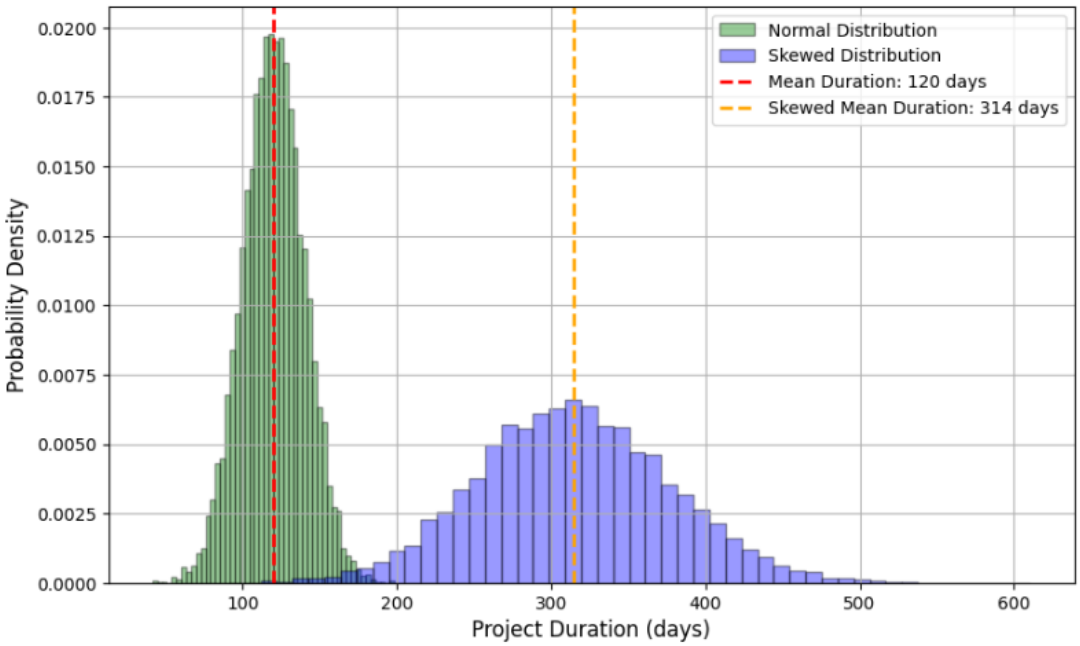

Рис. 3. Графік розподілу ймовірностей тривалості проєкту за методом Монте-Карло *(розроблено автором на основі [5])*

Окрім методу Монте-Карло, широко застосовуються й інші стохастичні моделі, зокрема нормальний і Бета-розподіли. Нормальний розподіл використовується в тих випадках, коли невизначеність у термінах виконання проєкту є симетричною, тобто ймовірність того, що тривалість виконання роботи буде довшою чи коротшою, однакова [6]. Бета-розподіл зазвичай застосовується, коли є жорсткі часові обмеження, наприклад, в межах чітко визначеного інтервалу часу. Оцінка тривалості з нормальним розподілом:

$$P(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \qquad (2)$$

де: P(T) — ймовірність того, що тривалість T знаходиться в межах розподілу з параметрами μ та σ.

Оцінка тривалості з Бета-розподілом [7]:

$$P(T) = \frac{(T-a)^{\alpha-1}(b-T)^{\beta-1}}{B(\alpha,\beta)}, \quad (3)$$

де T — тривалість проєкту, a,b — межі інтервалу для тривалості, α, β — параметри розподілу Бета, B(α,β) — бета-функція.

Рисунок 4 демонструє вигляд нормального розподілу для тривалості виконання робіт у проєкті, що дозволяє оцінити ймовірність виконання робіт в межах певних термінів.

Аналіз ризиків є важливою частиною процесу оцінки тривалості виконання проєктів, оскільки навіть незначні зміни в умовах можуть мати суттєвий вплив на кінцевий результат. Імовірнісні підходи дозволяють враховувати варіативність та непередбачувані фактори, оцінюючи ймовірність і наслідки ризиків, що можуть вплинути на терміни проєкту.

Імовірнісне дерево є одним із потужних інструментів для візуалізації різних сценаріїв розвитку подій у проєкті та для оцінки ймовірностей їх реалізації. Оцінка ризиків базується на ймовірностях подій і може бути застосована до кожного етапу виконання проєкту. Такий підхід дозволяє прогнозувати не тільки ймовірну тривалість робіт, але й аналізувати можливі відхилення від запланованих термінів.

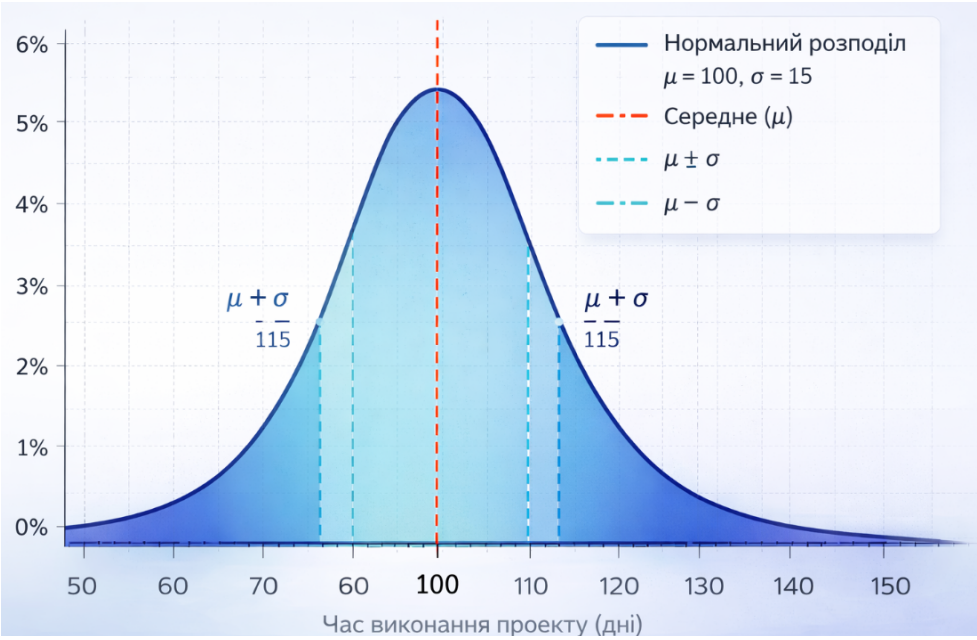

Рис. 4. Графік нормального розподілу для оцінки тривалості проєкту
(розроблено автором на основі [6, 7])

Один із найбільш поширених методів оцінки ризиків — це використання функції очікуваних втрат, що дозволяє врахувати ймовірність виникнення негативних подій та їхній вплив на тривалість проєкту.

Оцінка загального ризику з урахуванням ймовірності та величини втрат:

$$R_{total} = \sum_{i=1}^{n} P_i \times L_i \times \left(1 + \lambda_i \times Var(X_i)\right), \quad (4)$$

де R_{total} — загальний ризик, P_i — ймовірність виникнення події i, L_i — потенційні втрати внаслідок події i, λ_i — коефіцієнт коригування, що враховує вплив невизначеності на втрати, Var (X_i) — дисперсія значення X_i, що представляє варіативність ризику для події i.

Ця формула дозволяє оцінити не тільки ймовірність ризику, а й враховувати варіативність у величині втрат, що допомагає отримати більш точні прогнози для тривалості проєкту.

Імовірнісна модель для тривалості проєкту з урахуванням ризиків. Для більш точного прогнозування тривалості проєкту з урахуванням різних ризиків можна застосувати таку модель:

$$T_{total} = \sum_{i=1}^{n} \left[t_i + (P_i \times L_i) \times \left(1 + \beta_i \times Corr(R_i, T_i)\right)\right], \quad (5)$$

де T_{total} — загальна тривалість проєкту з урахуванням ризиків, t_i — планова тривалість роботи i, P_i x L_i — ймовірність і величина втрат для події i, β_i — коефіцієнт кореляції для етапу i, Corr (R_i, T_i) — кореляція між ризиками R_i та тривалістю T_i для етапу i.

Ця модель дозволяє не тільки оцінити вплив ризиків на тривалість робіт, а й враховувати взаємозв'язок між ризиками та часом виконання робіт. Це особливо корисно для комплексних проєктів, де багато етапів можуть бути взаємопов'язані.

Оцінка чутливості тривалості проєкту до змін ризиків
Для того щоб зрозуміти, наскільки чутливою є тривалість проєкту до зміни ризиків, можна застосувати таку оцінку:

$$S_{risk,i} = \frac{\partial T_{total}}{\partial (P_i \times L_i)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial t_i}{\partial (P_i \times L_i)} + \frac{\partial (P_i \times L_i)}{\partial (P_i \times L_i)}\right)}{\sum_{i=1}^{n} (P_i \times L_i)}, \quad (6)$$

де $S_{risk,i}$ — чутливість тривалості проєкту до зміни ризику i, $\frac{\partial T_{total}}{\partial (P_i \times L_i)}$ — зміна загальної тривалості проєкту при зміні ймовірності та втрат для події i.

Ця формула дозволяє визначити, як зміна ймовірності та величини втрат для конкретних ризиків може вплинути на загальний термін виконання проєкту. Висока чутливість до конкретного ризику означає, що цей ризик має значний вплив на загальну тривалість проєкту [8].

Рисунок 6 показує імовірнісне дерево для аналізу ризиків, яке дозволяє наочно оцінити ймовірності різних сценаріїв розвитку подій і їхній вплив на тривалість проєкту. Це дерево допомагає візуалізувати взаємозв'язки між ризиками та іншими чинниками, що впливають на результати проєкту.

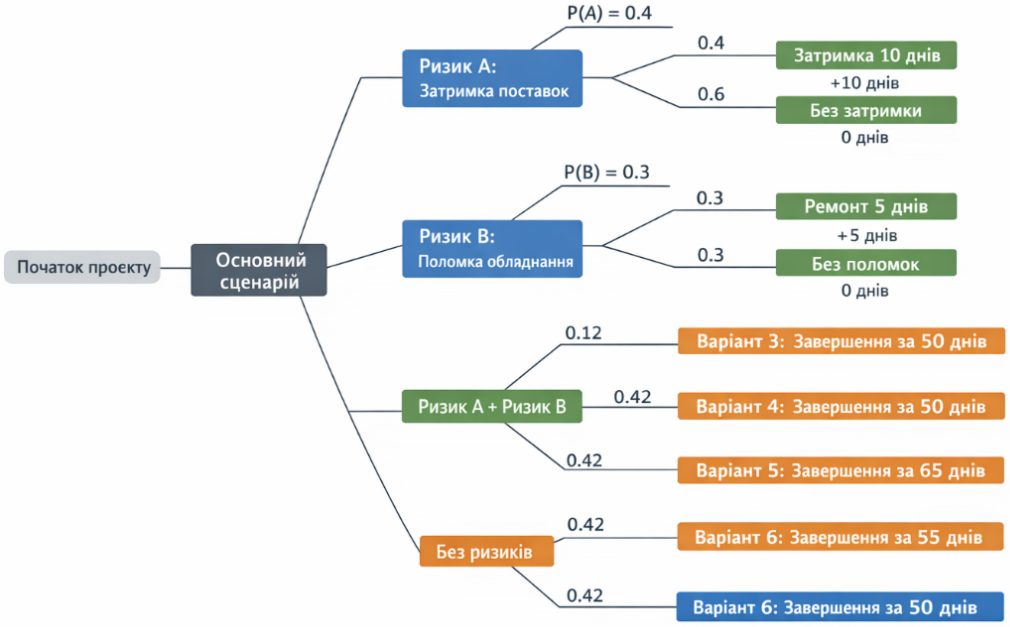

Рис. 6. Імовірнісне дерево для оцінки ризиків тривалості проєкту
(розроблено автором на основі [8])

Застосування стохастичних та імовірнісних підходів для оцінки тривалості виконання проєктів є важливим у будівництві та управлінні проєктами, оскільки непередбачуваність зовнішніх і внутрішніх факторів може впливати на терміни виконання робіт. На практиці ці моделі дозволяють точніше прогнозувати терміни та вчасно коригувати плани, знижуючи ймовірність затримок.

Метод Монте-Карло, один із найбільш ефективних інструментів для оцінки тривалості, часто використовується для аналізу варіативності термінів у будівельних проєктах, де є багато змінних, таких як погодні умови, зміни у постачанні матеріалів або технічні проблеми. Застосування стохастичних

моделей дозволяє не отримати один фіксований термін виконання, а діапазон можливих варіантів, що дає можливість краще оцінити ризики та підготувати план дій на випадок затримок.

Дослідження показують, що використання імовірнісних методів допомагає значно покращити точність прогнозів. Так, дослідження, проведене Козаном, показує, що застосування стохастичних моделей дозволяє зменшити похибку в оцінці тривалості проєкту на 20–30% порівняно з детермінованими підходами [9]. Такий підхід є особливо корисним при роботі з великими і складними проєктами, де є висока ймовірність виникнення непередбачуваних ситуацій.

Іншим важливим аспектом є використання ризик-менеджменту для оцінки потенційних загроз і можливих відхилень від плану. Імовірнісні підходи дозволяють створювати різні сценарії розвитку подій, враховуючи ймовірність ризиків та їх вплив на тривалість проєкту. Згідно з роботою Аккерманса, правильне використання імовірнісної моделі дозволяє точно прогнозувати не тільки ймовірну тривалість виконання робіт, а й виявити найбільш критичні етапи, що можуть суттєво затримати весь проєкт.

У таблиці 3 наведено порівняння результатів прогнозування тривалості проєкту за різними методами: детермінованими та стохастичними. Як видно з таблиці, застосування стохастичних моделей дозволяє отримати точніші оцінки та зменшити ймовірність відхилень.

Застосування стохастичних і імовірнісних моделей дає можливість не лише оцінювати ризики, але й створювати сценарії, які допомагають вчасно коригувати стратегії виконання робіт, зменшуючи ймовірність затримок.

Таблиця 3.

Порівняння результатів прогнозування за різними моделями

(розроблено автором на основі [9])

Модель	**Прогнозована тривалість**	**Фактична тривалість**	**Відхилення (%)**	**Похибка прогнозу (%)**
Детермінована модель	120 днів	125 днів	+4,17%	5%
Монте-Карло	118 днів	119 днів	+0,85%	0,5%
Нормальний розподіл	119 днів	120 днів	+0,84%	0,42%

Рассмуссен зазначає, що застосування таких моделей дає змогу прораховувати ймовірність виникнення різних варіантів розвитку подій, що дозволяє підготувати проєкт до різних можливих сценаріїв. Зокрема, у випадках, коли проєкт має багато взаємозалежних етапів, оцінка ризиків за

допомогою імовірнісних моделей допомагає чітко визначити критичні точки, де можливі найбільші відхилення від графіка. Оцінка тривалості виконання проєктів є важливою складовою управління проєктами в будівництві, оскільки від точності цієї оцінки залежить ефективність використання ресурсів, дотримання термінів та загальний успіх проєкту. Використання стохастичних та імовірнісних підходів дозволяє значно підвищити точність прогнозів, враховуючи варіативність зовнішніх і внутрішніх факторів, таких як погодні умови, технічні проблеми чи зміни у постачанні матеріалів [10].

Висновки. Прогнозування тривалості за допомогою таких методів, як метод Монте-Карло, нормальний розподіл або Бета-розподіл, дає змогу отримати не лише один фіксований термін завершення проєкту, а й діапазон можливих варіантів. Це дозволяє вчасно оцінити ризики та підготувати стратегії для коригування планів у разі виникнення непередбачуваних ситуацій. Дослідження показують, що застосування стохастичних моделей здатне зменшити похибки прогнозування на 20–30%, що є значним покращенням порівняно з традиційними детермінованими методами. Такий підхід є особливо ефективним для великих та складних інфраструктурних проєктів, де високий рівень невизначеності вимагає адаптивного та гнучкого підходу до управління часом.

Крім того, ризик-менеджмент, побудований на основі імовірнісних моделей, дозволяє більш точно оцінити ймовірність виникнення негативних подій, які можуть вплинути на терміни проєкту. Оцінка чутливості до ризиків дає змогу ідентифікувати критичні етапи, де можливі значні відхилення від запланованого графіка. Застосування стохастичних та імовірнісних підходів дозволяє не лише більш точно прогнозувати терміни виконання проєкту, але й ефективно управляти ризиками, знижуючи ймовірність затримок і збоїв у виконанні робіт. Це підвищує загальну ефективність проєктів, забезпечує дотримання бюджетів та термінів, а також дозволяє знижувати витрати, пов'язані з непередбаченими обставинами.

То ж, для досягнення високої ефективності в управлінні проєктами в будівництві необхідно впроваджувати стохастичні та імовірнісні підходи, адаптуючи їх під специфіку кожного проєкту. Використання таких моделей дозволить забезпечити більш точне прогнозування, зменшити вплив ризиків і підвищити загальний успіх проєкту.

Література

1. PMI. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). 6th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2017. 756 p.

2. Moder J.J., Phillips C.R., Davis E.W. Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming. 3rd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983. 423 p.

3. Chapman C., Ward S. Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2003. 392 p.

4. Elshaer R. Impact of sensitivity information on the prediction of project duration using PERT and Monte Carlo simulation. International Journal of Project Management. 2013. Vol. 31, No. 4. P. 579–588.

5. Touran A., Suphot L., Lucko G. Probabilistic scheduling using Monte Carlo simulation. Journal of Construction Engineering and Management. 2010. Vol. 136, No. 8. P. 886–893.

6. Ang A.H.-S., Tang W.H. Probability Concepts in Engineering Planning and Design. Vol. 1: Basic Principles. New York: John Wiley & Sons, 1975. 562 p.

7. I. Chupryna, R. Tormosov, D. Abzhanova, D. Ryzhakov, V. Gonchar and N. Plys, "Scientific and Methodological Approaches to Risk Management of Clean Energy Projects Implemented in Ukraine on the Terms of Public-Private Partnership," 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Nur-Sultan, Kazakhstan, 2022, pp. 1-8.

8. Vose D. Risk Analysis: A Quantitative Guide. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. 752 p.

9. Рижакова, Г., Приходько, Д., Поколенко, В., Петруха, Н., Чуприна, Ю., & Хоменко, О. (2022). Оновлення науково-методичних підходів до побудови полікритеріальної системи адміністрування діяльністю підприємств-стейкхолдерів проєктів будівництва. Просторовий розвиток, (1), 218–233.

10. Aven T., Renn O. Risk management and governance: Concepts, guidelines and applications. Springer, 2010. 278 p.

Blonnyi Andrii,
Kyiv National University of Construction and Architecture

CONSTRUCTION OF MODELS FOR ESTIMATING PROJECT EXECUTION DURATION USING STOCHASTIC AND PROBABILISTIC APPROACHES FOR RISK FORECASTING AND ANALYSIS

Estimating project execution duration is one of the key tasks of project management, as the accuracy of schedule forecasting largely determines the efficiency of resource utilisation, adherence to timelines, and the overall success of project implementation. Under conditions of increasing project complexity, high volatility of the external environment, and the presence of numerous risks, traditional

deterministic approaches to duration estimation prove to be insufficient. This necessitates the application of stochastic and probabilistic methods that allow for the consideration of uncertainty, parameter variability, and the impact of risks on task execution times.

The paper examines approaches to the construction of models for estimating project execution duration using stochastic and probabilistic methods. It is demonstrated that such models provide more realistic forecasts, as they generate not a single fixed completion time but a probability distribution of possible scenarios. Particular attention is paid to the analysis of Monte Carlo methods, as well as normal and beta distributions, which are widely used to model task durations in projects characterised by a high level of uncertainty.

The expediency of using stochastic models to assess the impact of risks on project execution timelines is substantiated. Analytical relationships are presented that make it possible to account for the probability of risk events, the magnitude of potential losses, and the correlation between risks and task durations. It is shown that the application of such models enables not only the forecasting of the expected project duration but also the assessment of schedule sensitivity to changes in individual risks and the identification of critical stages.

Keywords: project duration estimation; stochastic models; probabilistic approaches; risk management; Monte Carlo method; schedule forecasting; uncertainty; project sensitivity.

REFERENCES

1. Project Management Institute (PMI). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). 6th edition. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2017, 756 p. {in English}

2. Moder, J.J., Phillips, C.R., & Davis, E.W. Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming. 3rd edition. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983, 423 p. {in English}

3. Chapman, C., & Ward, S. Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights. 2nd edition. Chichester: John Wiley & Sons, 2003, 392 p. {in English}

4. Elshaer, R. Impact of Sensitivity Information on the Prediction of Project Duration Using PERT and Monte Carlo Simulation. International Journal of Project Management, 2013, Vol. 31, No. 4, pp. 579–588. {in English}

5. Touran, A., Suphot, L., & Lucko, G. Probabilistic Scheduling Using Monte Carlo Simulation. Journal of Construction Engineering and Management, 2010, Vol. 136, No. 8, pp. 886–893. {in English}

6. Ang, A.H.-S., & Tang, W.H. Probability Concepts in Engineering Planning and Design. Vol. 1: Basic Principles. New York: John Wiley & Sons, 1975, 562 p. {in English}

7. Chupryna, I., Tormosov, R., Abzhanova, D., Ryzhakov, D., Gonchar, V., & Plys, N. Scientific and Methodological Approaches to Risk Management of Clean Energy Projects Implemented in Ukraine on the Terms of Public-Private Partnership. Proceedings of the 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Nur-Sultan, Kazakhstan, 2022, pp. 1–8. {in English}

8. Vose, D. Risk Analysis: A Quantitative Guide. 3rd edition. Chichester: John Wiley & Sons, 2008, 752 p. {in English}

9. Ryzhakova, H., Prykhodko, D., Pokolenko, V., Petrukha, N., Chupryna, Yu., & Khomenko, O. Updating Scientific and Methodological Approaches to the Development of a Multicriteria System for Administering the Activities of Stakeholder Enterprises in Construction Projects. Spatial Development, 2022, No. 1, pp. 218–233. {in Ukrainian}

10. Aven, T., & Renn, O. Risk Management and Governance: Concepts, Guidelines and Applications. Springer, 2010, 278 p. {in English}