

**ВДОСКОНАЛЕННЯ СІТКОВОЇ МОДЕЛІ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУ  
ПРОЕКТУ З ВРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРИЧНОЇ І СТРУКТУРНОЇ  
НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ**

*В. Назимко, д. т. н.*

*Донецький національний технічний університет*

**Постановка проблеми.** В умовах турбулентного оточення параметри та структура проектів постійно змінюються, причому самі зміни відбуваються непередбачено і у випадкових напрямках. У таких умовах процес управління проектом суттєво ускладнюється. До того ж виникає нагальна необхідність оперативної адаптації проекту до оточення, що швидко змінюється. Для вибору оперативних рішень, близьких до оптимальних, треба мати модель календарного плану проекту. Вдосконалення такої моделі є, таким чином, актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні стандарти управління проектами були закладені в основоположній праці американських учених [1], яку в подальшому вдосконалювали японські, німецькі спеціалісти та науковці з інших країн [2-6]. Проте, незважаючи на значний теоретичний обсяг напрацювань, а також накопичений практичний досвід управління проектами, проблеми успішного виконання проектів залишаються актуальними. Згідно з [2; 3] більше половини всіх проектів завершуються із суттєвими затримками, з перебільшенням бюджетів або урізуванням мети проекту. В умовах турбулентного оточення, яке швидко змінюється, необхідно розробляти системи для адаптування базових планів, а також постійно переглядати всі вимоги, а часто й мету проекту в ході його виконання. Швидкі непередбачені зміни параметрів і структури проекту породжують необхідність оперативного зрівнювання ресурсів. Існуючі технології планування не створюють широких можливостей для оперативного розв'язання вказаних задач.

**Постановка завдання.** Таким чином, для швидкої адаптації проекту до непередбачених змін турбулентного оточення необхідно вдосконалити модель календарного плану, яка б дала змогу оперативно визначати можливі зміни параметрів і структури проекту, а також забезпечувати динамічне зрівнювання його ресурсів.

**Виклад основного матеріалу.** Стохастичне моделювання календарного плану проекту здійснювали за допомогою сіткової моделі [7], на основі математичного графа [7], спрощений фрагмент якого наведений на рис. 1,а. Дуги графа представлені векторами і відповідали конкретним роботам проекту, що записані біля кожного вектора. Дуги з'єднували певні події, наведені кружечками, наприклад подія 3 означає, що певний етап фази проекту завершено. Тривалість кожного вектора-роботи вказана у місяцях цифрами у квадратних мітках і є сталою детермінованою величиною. Наприклад, робота 1 відбувається протягом 9 місяців і визначається з діаграми Гантта, наведеної внизу рис. 1,а. На діаграмі вказані обсяги робіт, виконавці та планові строки їх виконання.

Критичний шлях графа як один з основних параметрів сіткової моделі визначався за допомогою алгоритму Дейкстри або Келлі-Фішберга (для цілочисельних ваг). Наприклад, з рис. 1,а видно, що критичний шлях фрагмента графа пролягає через події або вершини графа 1-2-3-4, а його тривалість становить  $9+3+2=14$  місяців.

Оскільки в умовах параметричної невизначеності темпи робіт проекту не є сталими детермінованими величинами, сіткова модель була модифікована з урахуванням стохастичних параметрів тривалості робіт. Для цього тривалості всіх основних і допоміжних робіт вважають випадковими величинами. Замість сталих значень тривалості векторів-робіт у сіткову модель ввели їх розподіли (рис. 1,б).



Це означає, що кожного разу, коли модель буде запускатись на обчислення критичного шляху, значення вхідних параметрів і факторів будуть прийматися випадковими. Так, значення тривалості окремих робіт календарного плану визначатимуться за допомогою генератора випадкових чисел з урахуванням певних законів розподілу та використання спеціальних процедур і правил. Оскільки всі вхідні дані щодо тривалості робіт є випадковими величинами, то їх комбінації є також випадковими. Проте в реальних умовах не всі комбінації можуть бути фізично можливими з урахуванням особливостей конкретних робіт і процесів, що задіяні в проекті. Тому мають бути розроблені процедури вибору не тільки окремих випадкових значень вхідних параметрів, а й їх комбінацій, причому так, щоб унеможливити такі комбінації, які є нереальними в практиці.

Для вибору випадкових значень вхідних величин тривалості робіт календарного плану треба встановити закони їх розподілу. Очевидно, що достовірність результатів моделювання прямо залежатиме від достовірності параметрів вказаних розподілів. Найбільш надійно закони розподілів і їх параметри встановлюються згідно зі стандартом РМВоК [1] методом аналогів. Для цього треба мати базу даних чи практичний досвід виконання робіт календарного плану, зафіксований у будь-якій формі.

Якщо такий досвід відсутній, використовують експертні оцінки параметрів розподілу. Найбільш прийнятні оцінки мінімальних, максимальних і найбільш імовірних (або мод) строків виконання робіт. Таким чином, фактичні розподіли тривалості виконання робіт календарних планів замінюють трикутними розподілами, які задовільно апроксимують будь-які одномодові розподіли випадкових величин.

Передбачено також введення розподілу вхідних даних у вигляді гістограми, завдяки чому можна врахувати будь-яку форму розподілу випадкової величини.

Структурна невизначеність проекту враховується ймовірністю робіт календарного плану. Величина ймовірності вводиться на початку стохастичного моделювання. Наприклад, якщо ймовірність роботи календарного плану становить 0,45, то у кожній сотні моделювань і визначення критичного шляху робота буде враховуватись приблизно тільки 45 разів.

Решта моделювань буде виконуватись без врахування даної роботи. Це означає, що вектор-робота буде видалена, а структура робіт календарного плану буде перебудована. Процес самплінгу полягає у виборі випадкових величин вхідних факторів за законом, який визначається розподілом або гістограмою можливих величин тривалості робіт. При реалізації процедури самплінгу в процесі стохастичного моделювання методом Монте Карло враховувалася можлива кореляція між окремими вхідними величинами. Якщо вхідні фактори корелюють між собою, тоді застосовується наступний підхід (рис. 2).

Нехай кореляція між факторами симетрична. У цьому випадку при черговому запуску стохастичної моделі випадкове значення фактору 1 вибирається з усього діапазону на графіку рис. 2,а. Значення фактору 2 вибирається з діапазону 1 (тобто з діапазону від 50 до 135), виділеного фігурною дужкою згідно з розподілом, отриманим на перетині графіка при обраній величині фактору 1. На

наступному запуску стохастичної моделі з усієї шкали вибирають випадкове значення фактору 2 (рис. 2,б), а випадкове значення фактору 1 вибирають на діапазоні 2, тобто в межах від 0 до 60.

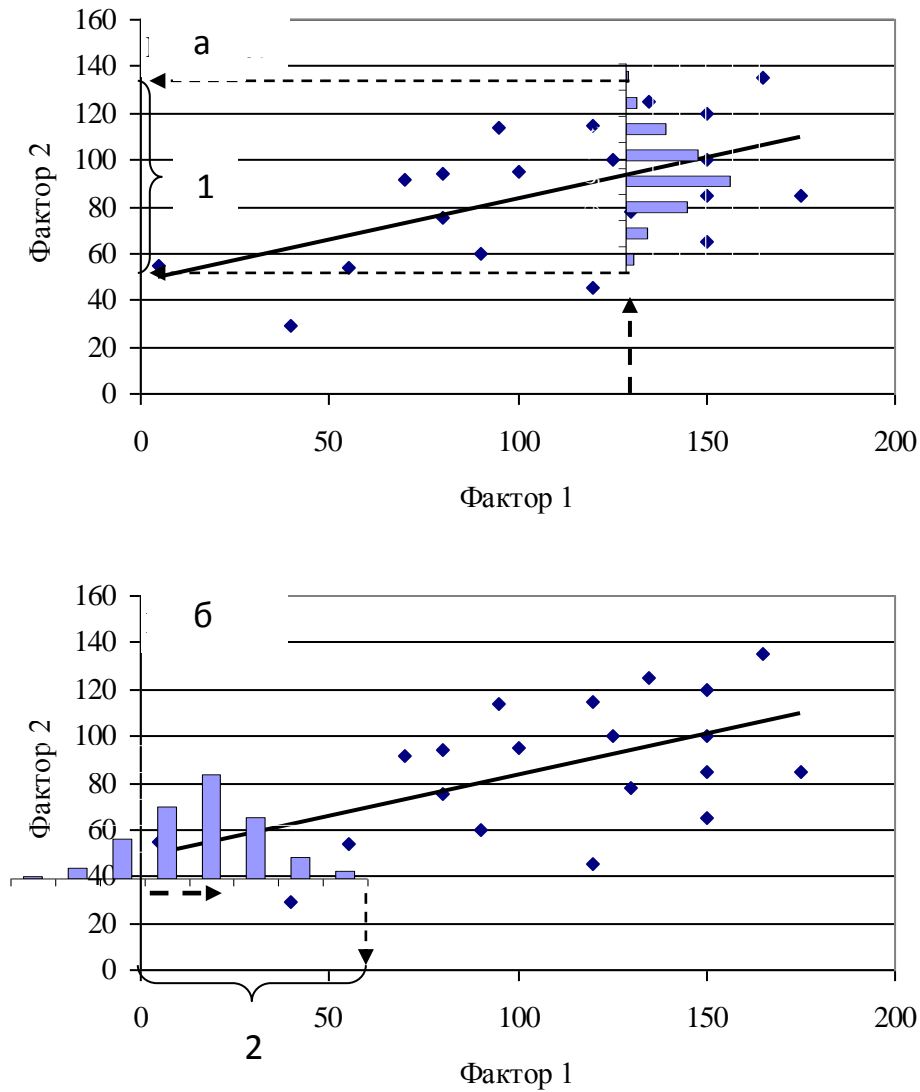


Рис. 2. Ілюстрація процедури саплінгу факторів, між якими є кореляція.

Таким чином, дотримується фізичний смисл можливих зв'язків між вхідними факторами. Наприклад, при позитивній кореляції між факторами при випадковому виборі малого значення першого фактору випадково відібране

значення другого фактору також буде вибиратися в межах малих можливих величин. При негативному коефіцієнті кореляційного зв'язку навпаки: більші значення одного фактору відповідають меншим значенням другого. Застосування процедури саплінгу унеможливує випадковий вибір фізично нездійсненних поєднань величин вхідних факторів, що забезпечує достовірність результатів стохастичного моделювання.

У разі несиметричної кореляції незалежне випадкове значення вибирається завжди для того фактору, який є аргументом, а залежне випадкове значення надається фактору, який є випадковою функцією незалежного фактору.

Алгоритмічно програма для реалізації стохастичного моделювання побудована так, що фактично роботи графа календарного плану знаходяться у вузлах. Вхідні дані про роботу записуються у вигляді запису, а структура календарного плану відображається за допомогою зв'язаних списків (рис. 3). Послідовні роботи зв'язуються укажчиками. Кореляція між певними роботами також відображається посилальними типами, як показано на рис. 3. Це дає змогу просто перебудувувати граф календарного плану за необхідності його модифікації чи видалення певної роботи, ймовірність якої стає нульовою. Таким чином враховується структурна невизначеність проекту і забезпечується можливість оперативної кількісної оцінки його поточного стану.

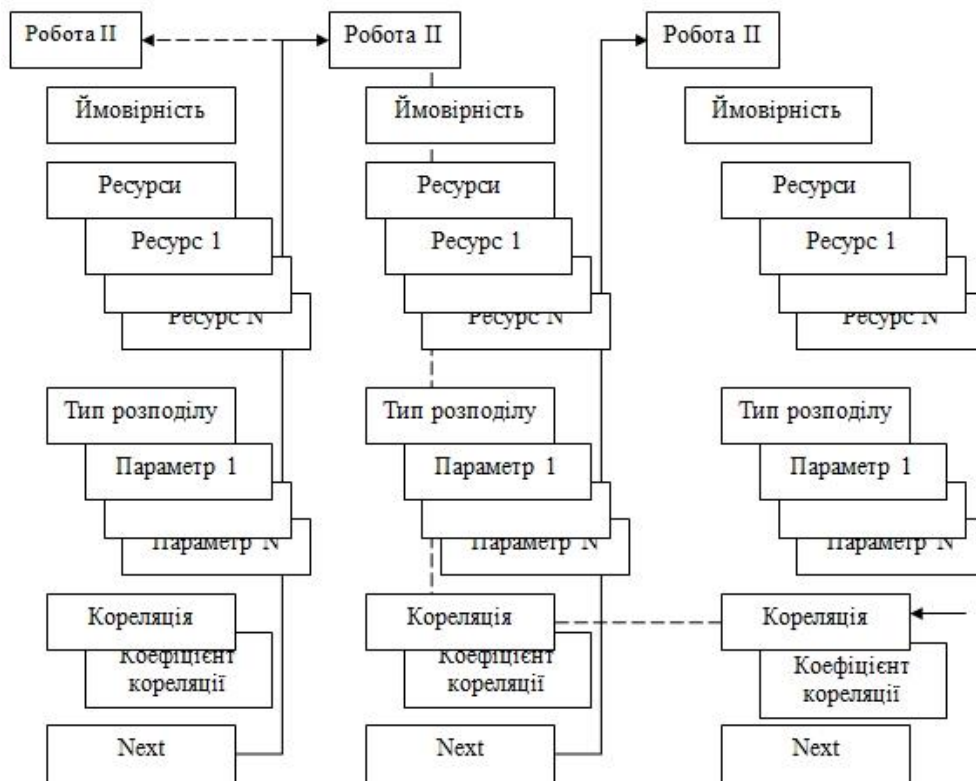


Рис. 3. Структура даних про граф календарного плану проекту.

Обсяги робіт календарного плану вводяться у форматі «об'єм-темпи». Такий формат дає змогу будувати календарний план проекту, враховуючи особливості розмірності будь-яких робіт, а також варіацію завантаження ресурсів. Це означає, що, окрім випадкової варіативної частини використання ресурсів проекту, враховується можлива детермінована зміна темпів використання ресурсів протягом виконання певної роботи плану проекту. Це підвищує точність сіткового моделювання і водночас не зумовлює необхідності формального дрібнення однієї і тієї ж роботи.

Ще один важливий момент стосується визначення числа повторів стохастичного моделювання однієї і тієї ж задачі. Практика показала, що для отримання достовірних результатів моделювання необхідно повторити рішення сотні разів. У якості правила зупинки обчислень слід використовувати критерії відповідності гістограм результатів моделювання певним законам розподілу. Найчастіше результати стохастичного моделювання (наприклад, строки виконання робіт календарного плану) розкидані так, що їх гістограми добре узгоджуються з нормальним законом розподілу. Це відповідає положенням центральної межової теореми. Проте гістограми результатів моделювання можуть мати й іншу форму. Тому в загальному випадку гістограми перевіряють на відповідність нормальному, логнормальному чи експоненційному законам розподілу, які є найбільш поширеними. Перевірку здійснюють згідно з критерієм Колмогорова-Смирнова.

Розроблена стохастична сіткова модель створює нові можливості для реалізації процесу зрівнювання ресурсів проекту. Класичний метод зрівнювання використовує дати початку і закінчення окремих робіт календарного плану проекту. Проте у випадку стохастичної постановки дати робіт стають також невизначеними. Тому модель визначає ймовірнісні розподіли ресурсів на основі усереднення результатів стохастичного моделювання за всіма циклами, що суттєво підвищує надійність результатів моделювання.

Процес стохастичного зрівнювання ресурсів проекту ілюструється рис. 4.

На фрагменті (а) наведена частина графа календарного плану проекту. Роботи вказані векторами і номерами від 1 до 5. Припустимо, що на поточній ітерації стохастичного моделювання отримано критичний шлях, показаний на фрагменті (б). Нехай критичний шлях пролягає через роботи 1-3-5, вказані темними планками. Роботи 2 і 4 мають вільні резерви часу і можуть виконуватись у певних інтервалах (вказані пунктирними порожніми планками). На фрагментах (в) і (г) наведені графіки витрат певного ресурсу. Ці витрати будуть залежати від конкретного положення робіт 2 і 4. Залежно від взаємного положення робіт 2, 4, а також 1,3,5, графік витрат ресурсу, який наведений на фрагменті (д), буде мати різну форму. Саме тому порушення проектних обмежень буде також змінюватись залежно від конкретного взаємного положення робіт у часі. Перевищення проектних обмежень ресурсу мають місце на графіку (д) на ділянках, де графік планових витрат ресурсу стає вище за пунктирний рівень, що відповідає обмеженню ресурсу.

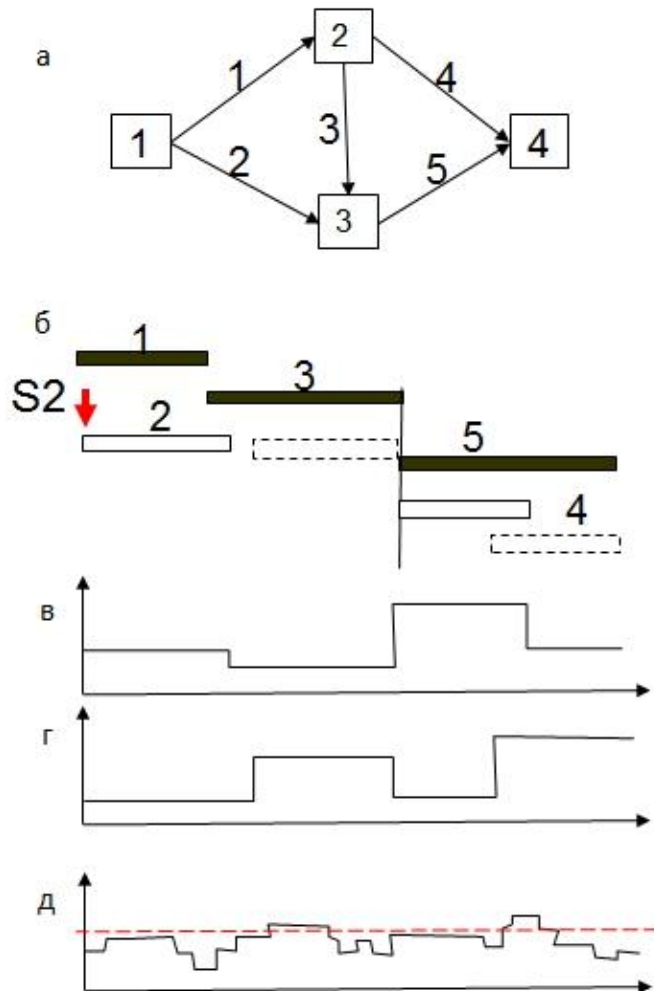


Рис. 4. Ілюстрація стохастичного зрівнювання ресурсів проекту.

Таким чином, стохастичне моделювання дає змогу отримати розподіл інтервалів часу, протягом якого буде мати місце перевищення ресурсних обмежень. Отже, розроблена стохастична модель відкриває нові можливості для проектування й оперативного управління проектом щодо зрівнювання ресурсів в умовах параметричної і структурної невизначеностей.

**Висновки.** Для здійснення оперативного управління проектом в умовах параметричної і структурної невизначеностей доцільно застосувати стохастичні сіткові моделі, спеціалізовані моделі та моделі саплінгу.

Параметрична і структурна невизначеності управління проектом у динамічному оточенні враховані нестационарною сітковою імітаційною моделлю, яка дає змогу здійснювати динамічне зрівнювання ресурсів і має вигляд



орієнтованого антисиметричного мультиграфа, ймовірність дуг якого може бути меншою за одиницю, а критичні шляхи календарного плану й оцінка їх імовірності визначаються стохастичним моделюванням модифікованим методом Монте-Карло із залученням спеціальної процедури саплінгу, яка забезпечує врахування симетричної та несиметричної кореляції вхідних параметрів.

#### **Бібліографічний список**

1. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide, 2008). – Fourth Edition. – Project Management Institute, 2008[4]. - 459 p.
2. Advanced Project Management (Vol. 3) erschienen. Komplexität, Dynamik und Unsicherheit in Projekten, damit befasst sich der 3. GPM Buchreihe Forschung. – 2013.-480 p.
3. Advanced Project Management, Leadership, Organization, Social Processes / R. Gleich, T. Mayer, R. Wagner, et al. // GPM Buchreihe Forschung. – 2010. – Vol. 2.
4. Turner J. The Handbook of Project-Based Management / J. Turner. – New York : McGraw-Hill Professional, 2008.
5. Арчибальд Р. Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Р. Д. Арчибальд ; пер. с англ. Е. В. Мамонтова ; под ред. А. Д. Баженова, А. О. Арефьева. – М. : Компания АйТи ; ДМК Пресс, 2004. – 472 с.
6. Рач В. А. Управління проектами: практичні аспекти реалізації стратегій регіонального розвитку : навч. посіб. / В. А. Рач, О. В. Россошанська, О. М. Медведєва ; за ред. В. А. Рача. – К. : «К.І.С.», 2010. – 276 с.
7. Nazimko V. V. A simulation of slime circulation and the effect of circuit design / V. V. Nazimko, E. I. Nazimko // Coal Preparation. – 1996. – Vol. 17. – P. 217-232.
8. Назимко В. В. Учет рисков в сетевом планировании развития горных работ при отработке выемочного участка угольной шахты / В. В. Назимко, А. А. Яйцов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк : ДонНТУ, 2010. – Вип. 38-3. – С. 94-103. – (Серія економічна).

#### **Назимко В. Вдосконалення сіткової моделі календарного плану проекту з врахуванням параметричної і структурної невизначеностей**

Розроблена сіткова модель календарного плану проекту, в якій враховані параметрична та структурна невизначеності турбулентного оточення проекту.

**Ключові слова:** управління проектом, календарний план, сіткова модель.

#### **Nazymko V. Network model improvement for project schedule simulation under parametric and structural uncertainties**

Stochastic network model modified with a sampling procedure assists to forecast complex behavior of a project in turbulent environment.

**Key words:** project management, project schedule, network model.

#### **Назимко В. Усовершенствование сетевой модели календарного плана проекта с учетом параметрической и структурной неопределенностей**

Разработана сетевая модель календарного плана проекта, в которой учтены параметрическая и структурная неопределенности турбулентной среды проекта.

**Ключевые слова:** управление проектом, календарный план, сетевая модель.