
МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 005.53

DOI: <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2021-2-28>**Корхіна І.А.**кандидат технічних наук
Національної металургійної академії України**Петренко В.О.**доктор технічних наук, професор
Національної металургійної академії України**Кулик В.О.**кандидат технічних наук,
керівник департаменту капітального будівництва ТОВ «ЩЕДРО»**Korkhina Inna, Petrenko Vitalii**

National Metallurgical Academy of Ukraine

Kulyk Volodymyr

Capital Construction Department of Shchedro LLC

УПРАВЛІННЯ ТРИВАЛІСТЮ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТУ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

MANAGEMENT OF PROJECT IMPLEMENTATION DURATION AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Важливим процесом управління проектами на промисловому підприємстві виступає управління часом проекту, що включає прогнозування і контроль над дотриманням термінів виконання робіт, контроль над змістом робіт та оцінку необхідних ресурсів. Метод мережевого планування є ефективним методом, який застосовується в теорії управління часом проекту і визначає одну з ключових характеристик проекту – його тривалість. Застосування мережевих моделей актуально, тому що вони враховують невизначеність у часі виконання роботи. Метою даної роботи є розроблення ймовірнісної імітаційної моделі розрахунку тривалості виконання проекту на металургійному підприємстві. Було згенеровано 200 реалізацій випадкової величини – тривалості робіт та отримано, відповідно, 200 реалізацій критичного шляху проекту. Визначено основні характеристики зазначеної сукупності випадкових чисел та знайдено значення тривалості критичного шляху, яке з імовірністю 95% не буде перевищено.

Ключові слова: проект, тривалість, планування, мережева модель, імітаційна модель, невизначеність, енергетична установка.

Важным процессом управления проектами на промышленном предприятии выступает управление временем проекта, включая прогнозирование и контроль над соблюдением сроков выполнения работ, контроль над содержанием работ и оценку необходимых ресурсов. Метод сетевого планирования является эффективным методом, который применяется в теории управления временем проекта и определяет одну из ключевых характеристик проекта – его продолжительность. Применение сетевых моделей актуально, так как они учитывают неопределенность во времени выполнения работы. Целью данной работы является разработка вероятностной имитационной модели расчета продолжительности выполнения проекта на металлургическом предприятии. Было сгенерировано 200 реализаций случайной величины – длительности работ и получено, соответственно, 200 реализаций критического пути проекта. Определены основные характеристики указанной совокупности случайных чисел и найдено значение продолжительности критического пути, которое с вероятностью 95% не будет превышено.

Ключевые слова: проект, продолжительность, планирование, сетевая модель, имитационная модель, неопределенность, энергетическая установка.

Implementation of investment projects contributes to the development of each metallurgical enterprise. An important project management process is project time management, which includes forecasting and monitoring compliance with deadlines, monitoring the content and relationships between works, as well as assessing the resources required for each work. When planning a project, it is often not possible to accurately determine the duration of a network schedule. Uncertainty of work time is associated with a certain degree of uniqueness of each work and external factors influencing this work. The method of network planning is recognized as one of the most effective methods used in the theory of project time management. Thanks to network models, it is possible to determine one of the key characteristics of the project, namely its duration. Due to the fact that it is not possible to accurately determine the duration of a project, so it is obvious the relevance of the use of network models that allow you to take into account the uncertainty in the time of work. The purpose of this work is to develop a probabilistic simulation model for calculating the duration of the project to create a combined gas turbine power plant at a metallurgical enterprise. It is proposed to take into account the uncertainty in the duration of the project in the traditional way, it is assumed that the duration of the project has a beta distribution. The work uses a network schedule for the creation of a combined gas turbine power plant. And all the works of the project were divided into appropriate stages. With the help of experts who provided a pessimistic, optimistic and most likely estimate of the duration of the work, the parameters of the beta distribution were determined. As part of the algorithm for calculating the simulation model of the project, 200 implementations of a random variable - the duration of work were generated and, accordingly, 200 implementations of the critical path of the project were obtained. the main characteristics of the specified set of random numbers are determined. Then we found a value for the duration of the critical path, which with a probability of 95% will not exceed 21 months.

Key words: project, duration, planning, network model, simulation model, uncertainty, power plant.

Постановка проблеми. Розвиток і підтримка конкурентоспроможності будь-якого сучасного металургійного підприємства неможливі без реалізації інвестиційних проектів. У рамках методології управління проектами процес планування відіграє особливо важливу роль. Саме на етапі планування визначаються термін реалізації проекту, обсяги різних видів ресурсів, що витрачаються на його здійснення, прогноуються вартість проекту й обсяг фінансування, а також можливі ризики проекту. Причому процес планування є динамічним, оскільки нерідко в ході реалізації проекту через дії непередбачуваних чинників плани необхідно коригувати, а це може позначитися й на кінцевих результатах проекту.

Процес планування реалізації проекту включає низку підпроцесів: планування змісту проекту, оцінку тривалості робіт, планування ресурсів, складання бюджету, виявлення та оцінку ризиків, планування якості проекту.

Управління часом проекту можна вважати одним із найбільш важливих процесів планування. Управління часом має на увазі не тільки прогнозування і контроль над дотриманням термінів виконання робіт, а й над змістом робіт та взаємозв'язками між ними, а також оцінку необхідних для кожної роботи ресурсів.

Одним із методів, що застосовуються у теорії управління часом проекту, є метод мережевого планування. Перевага мережевих моделей полягає у тому, що вони наочно відображають усі заплановані роботи проекту, об'єднуючи їх у логічну і технологічну послідовність. Окрім того, застосування мережевих моделей дає

змогу оптимізувати ресурси проекту, скласти календарний план робіт проекту, ефективно організувати управління і контроль над ходом виконання проекту. Завдяки мережевим моделям можна визначити одну з ключових характеристик проекту, а саме його тривалість.

Під час планування проекту часто не можна точно визначити тривалість виконання тієї чи іншої роботи мережевого графіка. Невизначеність часу виконання роботи пов'язана з певним ступенем унікальності кожної роботи і зовнішніми чинниками, що впливають на цю роботу. Таким чином, і тривалість реалізації всього проекту несе в собі невизначеність. Точність прогнозування тривалості проекту безпосередньо впливає на вартість проекту, тому очевидна актуальність застосування мережевих моделей, які дають змогу враховувати невизначеність у часі виконання роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мережеве моделювання широко поширене серед робіт вітчизняних та зарубіжних авторів [1–11]. Так, потенціал застосування мережевого планування й управління під час створення проекту в машинобудівній галузі розглянуто авторами в [1], автор [2] представив циклічні альтернативні мережеві моделі, що відображають процес реалізації складного комплексного проекту. У [3] також розроблений алгоритм побудови мережевої моделі для заданого комплексу робіт. Роботу [4] присвячено імітаційному моделюванню мережевих моделей. Однак у ній розглядалася модель, що складається лише з двох робіт (або послідовних, або паралельних). Роботу [5] присвячено

алгоритму побудови календарно-мережевої моделі проекту з елементами проактивності, але в ній не враховано невизначеність у тривалості робіт та проекту в цілому.

Автор роботи [6] запропонувала використання сітьового методу для управління інформаційними ресурсами проектно-орієнтованого підприємства, але у цій роботі також не враховується невизначеність у тривалості робіт. У [7] запропоновано розраховувати резерви часу операцій для оптимізації мережевої моделі.

Метою дослідження є розроблення ймовірнісної імітаційної моделі для розрахунку тривалості виконання проекту створення комбінованої газотурбінної енергетичної установки на металургійному підприємстві.

Виклад основного матеріалу дослідження.

У розрахунках тривалості реалізації проекту часто використовують задані тривалості робіт [12], хоча насправді ці величини не можуть бути відомі точно. Величина тривалості виконання проекту, відповідно, виступає також невизначеною величиною.

Ця визначеність може бути врахована двома способами. Перший із них базується на логіці нечіткої математики та має широкий розвиток. Цей спосіб передбачає, що тривалість робіт є нечіткими величинами, які задаються функціями належності до певних нечітких множин.

У рамках другого підходу невизначена величина ототожнюється з випадковою величиною, яка повністю задається функціями розподілу ймовірностей. Теорія ймовірності сьогодні активно застосовується в управлінні проектами, у зв'язку з чим у даній роботі також пропонується її використовувати, а конкретніше – теорію випадкових величин.

За врахування випадковості в тривалості реалізації проекту виникає проблема визначення функцій розподілів тривалостей кожної роботи та проекту. В умовах відсутності статистичних даних щодо тривалості робіт застосовуватиметься традиційний підхід, який передбачає, що тривалість виконання проекту має бета-розподіл [13]. Параметри даного розподілу задаються на основі трьох оцінок: оптимістична, песимістична і найбільш ймовірна тривалість робіт. Ці оцінки визначаються експертним шляхом. Ще однією проблемою є зміна критичного шляху залежно від реалізації випадкових величин.

Виходячи з вищевказаних аспектів, визначення тривалості реалізації проекту аналітичним шляхом утруднено, тому доцільніше аналізувати складні мережеві моделі з ймовірнісними тривалостями робіт за допомогою методу Монте-Карло. Цей метод дає змогу моделювати безліч варіантів тривалостей

робіт, завдяки чому можна обчислити середнє значення часу реалізації проекту і визначити ймовірність того, що величина критичного шляху не перевищить деяке значення. Недоліком такого методу є необхідність генерації значної кількості випадкових величин. Однак це не заважає методу Монте-Карло залишатися одним із найкращих засобів обліку невизначеності в управлінні проектами.

Використаємо вірогідну імітаційну модель під час обчислення тривалості реалізації проекту створення комбінованої газотурбінної енергетичної установки на металургійному підприємстві.

Як указується в [14], комбіновані енергетичні установки (КЕУ) являють собою електричні станції або локальні енергетичні системи малої енергетики, які складаються з енергоблоків на різних джерелах енергії. До такого роду установок відносяться системи, що складаються з вітроенергетичних і біоенергетичних, сонячних і гідроенергетичних або інших комбінацій енергоустановок на поновлюваних і традиційних енергоресурсах. Ефективність застосування таких установок у металургії описано у [15].

Завдяки створенню такої установки можна досягти істотного зниження собівартості електроенергії та терміну окупності обладнання, а також збільшити надійність електропостачання місцевих споживачів. Окрім того, вироблені надлишки електроенергії можна віддавати в енергосистему.

Тривалості робіт у зазначеній імітаційній моделі є випадковими величинами, що мають β -розподіл. За допомогою експертів, які надавали песимістичну, оптимістичну та найбільш ймовірну оцінки тривалостей робіт, були визначені параметри β -розподілу.

На рис. 1 представлено мережевий графік створення комбінованої газотурбінної енергетичної установки, складений у [16]. Обчислення в рамках імітаційної моделі проекту проводилися так.

1. Проведення оцінки характеристик β -розподілу тривалості робіт. Так, p_n – це максимальна тривалість (песимістична), v_n – ймовірна тривалість, o_n – мінімальна тривалість (оптимістична).

2. Перетворення тривалості n -ї роботи t_n до величини:

$$T_n = \frac{t_n - o_n}{p_n - o_n}, \quad (1)$$

де T_n – тривалість n -ї роботи після перетворення, $T_n \in [0,1]$.

3. Визначення найбільш ймовірної тривалості роботи для інтервалу $[0,1]$ V_n за формулою (1), при $t_n = V_n$.

Таблиця 1

Роботи проєкту та їхні часові характеристики

Назва роботи	Номер роботи, n	Опис роботи	p_n , міс	v_n , міс	o_n , міс
А	1	Перший (передвиробничий) етап проєктування СТЕ, ГТЕ	1	1	3
Б	2	Другий (заключний) етап проєктування СТЕ, ГТЕ	3	4	6
В	3	Виготовлення газотурбінного приводу	6	8	10
Г	4	Виготовлення та випробування триступ. турбіни	6	8	10
Д	5	Виготовлення контейнера турбоблоку	2	4	5
Е	6	Виготовлення вихлопного пристрою	3	4	5
Є	7	Виготовлення всмоктуючого тракту	3	5	7
Ж	8	Перший етап проєктно-кошторисних робіт	1	2	4
З	9	Другий етап проєктно-кошторисних робіт та будівельно-монтажні роботи	6	8	11
И	10	Виготовлення вихлопного тракту	5	7	9
І	11	Виготовлення системи вентиляції	4	5	7
К	12	Виготовлення елементів паливної системи	8	10	12
Л	13	Виготовлення турбогенератора	8	10	13
М	14	Виготовлення ГРУ	5	6	8
Н	15	Проєктні роботи по створенню АСУТП та електросилової частини	1	1	2
О	16	Установка систем автоматизації, телемеханіки та зв'язку	6	7	9
П	17	Виготовлення та встановлення системи електрозабезпечення	4	5	6
Р	18	Виготовлення та проведення кабельних ліній	4	5	7
С	19	Монтаж турбоблоку	2	3	5
Т	20	Монтаж усіх систем і агрегатів ГТЕУ, пусконаладжувальні роботи	1	2	3
У	21	Заключні роботи по всіх елементах і складових ГТЕУ	1	1	3

Таблиця 2

Етапи робіт

Номер етапу роботи, s	Роботи, що входять до етапу
1	А
2	Б, В, Г, Д, Е, Є
3	З, И, І, К, Л, М, О
4	Ж
5	Н
6	П, Р, Т
7	У

чиною, пропонується розробити вірогідну імітаційну модель, яка дасть змогу врахувати невизначеність у термінах реалізації проєкту.

Окрім цього, модель дасть змогу обчислити такий термін проєкту, який із великою ймовірністю (95%) не буде перевищений.

Список використаних джерел:

1. Гасанбеков С.К., Лебенец Н.А. Сетевое планирование как инструмент управления проектами. *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2014. № 1(19). С. 21–24.
2. Гельруд Я.Д. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами. *Вестник НГУ. Серия «Математика, механика, информатика»*. 2010. Т. 10. Вып. 4. С. 36–51.
3. Левштанова Ю.Ю., Хафизов И.И. Сетевая модель комплекса работ по технической подготовке производства нового изделия как способ повышения качества. *Вестник ВГУИТ/Proceedings of VSUET*. 2017. № 2. С. 372–379.

4. Бабкин Е.А., Пикалов И.Ю. Имитационное моделирование сетевых моделей. *Человек в системе современных финансово-экономических отношений : ежегод. науч. чтения, посвящ. памяти А.Н. Пилецкого*. Курск : КИГМС. 2005. С. 5–11.
5. Тімінський О.Г. Алгоритм побудови календарно-сітьової моделі проекту з елементами проактивності. *Управління проектами та розвиток виробництва*. 2008. № 4(28). С. 31–36.
6. Єгорченкова Н.Ю. Метод сітьового управління інформаційними ресурсами проектно-орієнтованих підприємств. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 30. С. 39–43.
7. Нечволода Л.В., Пилипенко К.В. Удосконалення календарного планування виконання ІТ-проекту. *Економічний вісник Донбасу*. 2018. № 1(51). С. 87–91.
8. Корхина И.А. Об учете неопределенности при планировании сроков выполнения проектов *Системні технології*. 2010. № 5(70). С. 92–99.
9. Bomin Kim, Kevin H. Lee, Lingzhou Xue, Xiaoyue Niu. A review of dynamic network models with latent variables. *Statist. Surv.* 2018. URL: <https://doi.org/10.1214/18-SS121> (дата звернення: 10.04.2021).
10. Carlos Roberto De Rolt, Júlio da Silva Dias, Francisco Tiago Garcia Peña, Network analysis as a management tool for inter-organizational projects. *Gest. Prod.* 2017. Vol. 24. URL: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2017000200266&script=sci_arttext&tlng=en (дата звернення: 10.04.2021).
11. Luz Stella, Cardona-Meza, Gerard Olivar-Tost. Modeling and Simulation of Project Management through the PMBOK® Standard Using Complex Networks. *Emerging Applications of Complex Networks*. 2017. URL: <https://www.hindawi.com/journals/complexity/2017/4791635/> (дата звернення: 10.04.2021).
12. Управление проектом. Основы проектного управления : учебник / под. ред. М.Л. Разу. Москва : КНОРУС, 2010. 768 с.
13. Миллер Р. ПЕРТ – система управления. Москва : Экономика, 1965. 202 с.
14. Комбинированные энергетические установки на возобновляемых источниках энергии / М.М. Олешкевич и др. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. *Энергетика*. 2003. № 5. С. 23–29.
15. Сапрыкин Г.С., Галета Г.С., Елизарова С.В. Эффективность применения ГТУ в условиях металлургических предприятий. *Университетская наука – 2010 : в 3-х т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., г. Мариуполь, 18–20 мая 2010 г. Мариуполь, 2010. С. 78–79.*
16. Сафаргалиев М.Ф. Планирование производства новой продукции машиностроительного предприятия. *Вестник экономики, права и социологии*. 2012. № 3. С. 109–113.

References:

1. Gasanbekov S.K., Lebenets N.A. (2014) Setevoe planirovanie kak instrument upravleniya proektami [Network planning as a project management tool]. *Izvestiya MGTU «MAMI»*, vol. 1(19), pp. 21–24.
2. Gel'rud Ya.D. (2010). Obobshchennye stokhasticheskie setevye modeli dlya upravleniya kompleksnymi proektami [Generalized Stochastic Network Models for Complex Project Management]. *Vestnik NGU. Seriya: Matematika, mekhanika, informatika*, vol. 4, pp. 36–51.
3. Levshanova Yu.Yu., Khafizov I.I. (2017) Setevaya model' kompleksa rabot po tekhnicheskoy podgotovke proizvodstva novogo izdeliya kak sposob povysheniya kachestva [Network model of a complex of works on technical preparation of a new product as a way to improve quality]. *Vestnik VGUIT/Proceedings of VSUET*, vol. 2, pp. 372–379.
4. Babkin E.A., Pikalov I.Yu. (2005) Imitatsionnoe modelirovanie setevykh modeley [Simulation modeling of network models]. *Proceedings of the Chelovek v sisteme sovremennykh finansovo-ekonomicheskikh otnosheniy: ezhegod. nauch. chteniya, posvyashch. pamyati A.N. Piletskogo* (Russia, Kursk), Kursk: Izd-vo KIGMS, pp. 5–11.
5. Timinskiy O.Gh. (2008) Alghorytm pobudovy kalendarno-sitjovoji modeli proektu z elementamy proaktyvnosti [Algorithm for building a calendar-network model of the project with elements of proactivity]. *Upravlinnja proektamy ta rozvytok vyrobnyctva: Zb.nauk.pr.*, vol 4 (28), pp. 31–36.
6. Jeghorchenkova N.Ju. (2017) Metod sitjovogho upravlinnja informacijnyy resursamy proektno-orientovanykh pidpryemstv [Method of network management of information resources of project-oriented enterprises]. *Upravlinnja rozvytkom skladnykh system*, vol. 30, pp. 39–43.
7. Nechvoloda L.V., Pylypenko K.V. (2018) Udokonalennja kalendarnogho planuvannja vykonannya it-proektu [Improving the calendar planning of the IT project]. *Ekonomichnyj visnyk Donbasu*, vol. 1(51), pp. 87–91.
8. Korkhina I.A. (2010) Ob uchete neopredelennosti pri planirovanii srokov vypolneniya proektov [On accounting for uncertainty when planning project deadlines]. *Reghionalnyj mizhvuzivskiy zbirnyk naukovykh pracj «Systemni tekhnologhiji»*, vol. 5 (70), pp. 92–99.
9. Bomin Kim, Kevin H. Lee, Lingzhou Xue, Xiaoyue Niu. A review of dynamic network models with latent variables. *Statist. Surv.* 2018. Available at: <https://doi.org/10.1214/18-SS121> (accessed 10 April 2021).

- Carlos Roberto De Rolt, Júlio da Silva Dias, Francisco Tiago Garcia Peña, Network analysis as a management tool for inter-organizational projects. *Gest. Prod.* 2017 vol.24. Available at: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2017000200266&script=sci_arttext&tlng=en (accessed 10 April 2021).
10. Luz Stella, Cardona-Meza, Gerard Olivar-Tost. Modeling and Simulation of Project Management through the PMBOK® Standard Using Complex Networks. *Emerging Applications of Complex Networks*. 2017. Available at: <https://www.hindawi.com/journals/complexity/2017/4791635/> (accessed 10 April 2021).
 11. Razu M.L. (ed.) (2010) Upravlenie proektom. Osnovy proektnogo upravleniya [Project management. Fundamentals of project management]. Moscow: KNORUS.
 12. Miller R (1965) PERT – sistema upravleniya [PERT – control system]. Moscow: Ekonomika. (in Russian)
 13. Oleshkevich M. M. i dr. (2003) Kombinirovannye energeticheskie ustanovki na vozobnovlyaemykh istochnikakh energii [Combined power plants based on renewable energy sources]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob"edineniy SNG. Energetika*, vol. 5, pp. 23–29.
 14. Saprykin G.S., Galeta G.S., Elizarova S.V. (2010) Effektivnost' primeneniya GTU v usloviyakh metallurgicheskikh predpriyatiy [Efficiency of using gas turbines in the conditions of metallurgical enterprises]. *Proceedings of Universitetskaya nauka: v 3 t.: tez. dokl. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf (Ukraine, Mariupol' May 18–20, 2010), Mariupol'*, pp. 78–79.
 15. Safargaliev M.F. (2012) Planirovanie proizvodstva novoy produktsii mashinostroitel'nogo predpriyatiya [Planning the production of new products of a machine-building enterprise]. *Vestnik ekonomiki, prava i sotsiologii*, vol. 3, pp 109–113.