

УДК 004.9

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2023.1.5>

МЕРЕЖЕВЕ ПЛАНУВАННЯ В УПРАВЛІННІ ІТ-ПРОЕКТАМИ

Родащук Г. Ю. – кандидат економічних наук,
старший викладач кафедри інформаційних технологій
Уманського національного університету садівництва
ORCID ID: 0000-0002-0336-3435

Концеба С. М. – кандидат економічних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій
Уманського національного університету садівництва
ORCID ID: 0000-0003-4161-5581

Ліщук Р. І. – кандидат технічних наук,
завідувач кафедри інформаційних технологій
Уманського національного університету садівництва
ORCID ID: 0000-0002-2051-5365

Скуртол С. Д. – кандидат економічних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій
Уманського національного університету садівництва
ORCID ID: 0000-0003-4517-2466

На даний час не всі ІТ-компанії, особливо невеликі, приділяють достатньо уваги управлінню ІТ-проектами в своїй діяльності. В результаті збитки ІТ-індустрії, штрафи за провалені проекти тощо. Адже, для досягнення стабільних та якісних результатів у будь-якій сфері бізнесу важливо вміло поєднувати та координувати весь процес. При цьому потрібно пам'ятати, що кожен проект є унікальним. Саме від уміння реалізувати ІТ-проект в компанії залежить успіх всього підприємства. В зв'язку з цим, управління проектами стає актуальним і важливим питанням для менеджерів будь-якої ланки на підприємстві. Таким чином, новою тенденцією в регулюванні роботи ІТ-компаній сьогодні є проектний менеджмент, який допомагає швидко і ефективно досягати поставлених цілей. З огляду на це, необхідним є обґрунтування застосування мережевого планування як одного з методів управління ІТ-проектами. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, що стосуються мережевого планування в управлінні ІТ-проектами. Сьогодні на ринку інформаційних технологій існує велика кількість комп'ютерних програм, як вітчизняних, так і зарубіжних, які допомагають ефективніше управляти проектами. Кожна з яких має свої переваги і недоліки. Основна мета таких програм – зробити процес управління проектом простішим, швидшим і зрозумілішим для всіх членів команди. Поряд з цим, ряд питань науково-методичного характеру, пов'язаних з питанням мережевого планування за допомогою табличного процесора MS Excel не отримали дотепер широкого застосування. Враховуючи вищесказане, головною метою даної статті є використання потужного інструменту для візуалізації та аналізу даних – табличного процесора MS Excel при вивченні питання мережевого планування в управлінні ІТ-проектами, зокрема в розрахунку часових параметрів подій та визначенні резервів часу виконання робіт.

Ключові слова: оптимізація мережевих моделей, теорія графів, сітьовий графік, критичний шлях, діаграма Ганта.

Rodashchuk H. Yu., Kontseba S. M., Lishchuk R. I., Skurtol S. D. Network planning in IT project management

Today, the scale and complexity of IT projects are growing, which in turn requires improved management of these projects in order to timely and fully implement them. Many companies

do not use IT project management, do not have the described processes, and cannot control or change the status of the project without interaction among the project participants in order to solve emerging problems jointly. As a result, the IT industry has lost hundreds of billions of dollars, fines for failed projects, and so on.

Recent open access publications related to network planning in IT project management were reviewed. Modern projects are often rather complex and include hundreds and thousands of works performed by various specialists and contractors; in these cases, the management of works is complicated by the novelty of development, the difficulty of accurately determining the terms and costs of resources at one stage or another. Therefore, highly effective tools for solving these problems are network methods and models. Network planning has a number of advantages, namely it provides clearness of technological sequence of works, allows to make up operational and current plans, as well as predict complex processes and identify hidden resources of time and material means during production processes. Today, there is a large number of software tools on the market of software products that help to manage projects more effectively. Each of them has its advantages and disadvantages. However, a number of scientific and methodological issues related to the problem of network planning using MS Excel spreadsheet have not yet been widely used. Considering the above, it is necessary to justify the use of network planning as one of the methods of IT project management.

The main aim of this article is to use a powerful tool for data visualization and analysis such as MS Excel spreadsheet in studying the issue of network planning in the management of IT projects, in particular in the calculation of time parameters and determining time reserves of work performance.

Key words: *the optimization of network model, graph theory, network graph, critical path, Gantt chart.*

Постановка проблеми. На сьогоднішній день масштаби і складність ІТ-проектів зростають, що в свою чергу вимагає вдосконалення управління даними проектами, щоб своєчасно реалізувати їх. Адже багато ІТ-проектів можуть зазнавати змін в процесі їх реалізації, тому важливо використовувати гнучкий підхід і адаптуватися до нових даних. У деяких випадках є ймовірність технологічних змін, і слід готуватися до того, що прийдеться почати все спочатку. Таким чином, в сучасних умовах, якщо не брати до уваги можливі зміни заздалегідь, існує ризик зсунути терміни початку реалізації проекту, а це негативно вплине на кінцевий результат. У таких ситуаціях планування і підготовка стають вирішальними завданнями, поряд з управлінням учасниками проекту, вибором технологічного рішення, формуванням і використанням бюджету тощо. Управління ІТ-проектами направлено на те, щоб успішно завершити розпочатий проект. З огляду на це, необхідним є обґрунтування застосування мережевого планування як одного з методів управління ІТ-проектами.

Багато компаній практично не застосовують проектний менеджмент у своїй діяльності, не мають описаних процесів, не можуть контролювати і змінювати статус проекту, не мають взаємодії з учасниками проекту для спільного вирішення проблем, що виникають. З усіма цими проблемами стикаються керівники ІТ-проектів на шляху їх планування та реалізації.

У 1995 р компанія The Standish Group опублікувала перші підсумки дослідження CHAOS Report, присвяченого впровадженню ІТ-проектів по всьому світу. Результати 20-річних спостережень за ринком успішності ІТ-проектів показують, що частка успішних ІТ-проектів в середньому становить близько 34%. Тобто неуспішними або проблемними є 66% впроваджень, з них близько 20% ІТ-проектів виявилися неуспішними з тих чи інших причин і були зупинені, так і не досягнувши ніяких цілей. А близько 46% ІТ-проектів виявилися проблемними, оскільки зіткнулися під час розробки або впровадження з деякими проблемами, які позначилися на якості, бюджеті і тривалості проекту, що вплинуло на виконання запланованих

цілей і призвело до небажаних результатів [1]. В результаті збитки ІТ-індустрії, штрафи за провалені проекти тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості мережевого планування в управлінні ІТ-проектами висвітлено в роботах таких дослідників, як О. В. Березін та М. Г. Безпарточний [2], О. В. Єгорченков, Н. Ю. Єгорченкова та Є. Ю. Катаєва [3], А. В. Катренко [4], Л. В. Нечволода та К. В. Пилипенко [5], Т. Г. Фесенко [6].

Науковий внесок в дослідженні поставленої проблеми значний, але ряд питань науково-методичного характеру, пов'язаних з питанням мережевого планування, зокрема розрахунок часових параметрів подій, визначення резервів часу виконання робіт за допомогою табличного процесора MS Excel не отримали дотепер широкого застосування, що визначило вибір теми дослідження.

Метою роботи є використання табличного процесора MS Excel при вивченні питання мережевого планування в управлінні ІТ-проектами, зокрема в розрахунку часових параметрів подій та визначенні резервів часу виконання робіт.

Виклад основного матеріалу. Теоретичною і методологічною основою дослідження є системний підхід до вивчення й аналізу процесів мережевого планування в управлінні ІТ-проектами. ІТ-проект – це проект, в рамки якого входять роботи, пов'язані з інформаційними технологіями [5, 8, 9, 10]. Тому інформаційні технології відіграють все більш важливу роль в управлінні ІТ-проектами. Суть проекту може полягати в розробці нової інформаційної системи або у впровадженні вже існуючої системи в компанії [9–12]. Сучасні ІТ-проекти нерідко дуже складні і включають в себе сотні і тисячі робіт, які виконують різні фахівці і підрядники, в цих випадках управління роботами ускладнюється новизною розробки, труднощами точного визначення термінів і витрат ресурсів на тому чи іншому етапі. Тому високоефективними інструментами для вирішення даних завдань є мережеві методи і моделі.

Сьогодні на ринку програмних продуктів існує велика кількість програмних засобів, які допомагають ефективніше управляти проектами [9, 11–13]. Кожен з них має свої переваги і недоліки. На нашу думку для вивчення теоретичних аспектів мережевого планування, зокрема вивчення правил побудови сітьової моделі, діаграми Ганта, визначення часових параметрів подій і резервів часу виконання робіт можна скористатися потужним інструментом для візуалізації та аналізу даних – табличним процесором MS Excel. Таким чином, розглянемо суть мережевого планування за допомогою даного програмного засобу.

Незважаючи на те, що вперше мережеве планування і управління було застосовано наприкінці 50-х років минулого століття в США і отримало свою первинну назву методу критичного шляху, воно зберігає досі свою актуальність [1–5]. Мережеве планування (сіткове планування) являє собою метод управління, заснований на застосуванні математичного апарату теорії графів – для відображення і алгоритмізації комплексу взаємопов'язаних робіт, заходів або дій для досягнення чітко визначеної мети. Його основний інструмент – мережевий графік, який дозволяє: виявити перелік робіт даного проекту; наочно уявити порядок їх слідування; визначити тривалість кожної роботи і всього проекту в цілому; визначити критичні роботи проекту і відповідно його критичний шлях; визначити резерви часу по кожній роботі тощо. Таким чином, сучасні інструменти планування проектів ґрунтуються на мережевих моделях. Мережева модель – це план виконання деякого комплексу взаємопов'язаних робіт, заданого в формі мережі, графічне зображення якої називається мережевим графіком [2–5].

Математичний апарат мережевих моделей базується на теорії графів. Графом називається сукупність двох кінцевих множин: множини точок, які називаються

вершинами, і безлічі пар вершин, які називаються ребрами. Якщо розглянути пари вершин є впорядкованими, тобто на кожному ребрі задається напрямок, то граф називається орієнтованим, в іншому випадку – неорієнтованим. Послідовність неповторюваних ребр, що веде від деякої вершини до іншої, утворює шлях. Граф називається зв'язним, якщо для будь-яких двох його вершин існує шлях, їх з'єднує; в іншому випадку граф називається незв'язним. Найчастіше використовується два види графів: дерева та мережу. Дерево являє собою зв'язний граф без циклів, що має початкову вершину (корінь) і крайні вершини; шляху від початкової вершини до крайніх вершин називаються гілками. Мережа – це орієнтований скінченний зв'язний граф, що має початкову вершину (джерело) і кінцеву вершину (сток). Таким чином, мережева модель являє собою граф виду «мережа» [5].

У проектах мережеві графіки призначені для вирішення двох основних проблем: формування календарного графіка виконання робіт ІТ-проекту і прийняття ефективних рішень в процесі його реалізації. Побудова мережевої моделі починається з поділу проекту на чітко визначені роботи, для яких визначається тривалість. До основних параметрів мережевої моделі відноситься [2–5]:

1. робота – це певний процес, який призводить до досягнення певного результату, що вимагає витрат яких-небудь ресурсів і має протяжність у часі. Робота може бути: а) дійсною, тобто що вимагає витрат часу і ресурсів; б) фіктивною, тобто формально не вимагає витрат часу і ресурсів; в) очікування, тобто що вимагає тимчасових витрат, але не вимагає витрати ресурсів.

2. подія – це момент часу, коли завершуються одні роботи і починаються інші. Подія не має протяжності в часі.

Взаємозв'язок робіт і подій, необхідних для досягнення кінцевої мети проекту, зображується за допомогою сітьового графіка (сітьової моделі). Роботи зображуються стрілками, які з'єднують вершини, що зображують події. Початок і закінчення будь-якої роботи описуються парою подій, які називаються початковим і кінцевим подіями. Для зазначення конкретної роботи використовують код роботи (i, j) , що складається з номерів початкової (i -ої) і кінцевої (j -ої) подій. Подія вважається настала тільки тоді, коли закінчаться всі вхідні до неї роботи [2–5].

Тому роботи, що виходять з деякої події, не можуть розпочатися, поки не будуть завершені всі роботи, що входять в цю подію. Подія, що не має попередніх їй подій, називається вихідною. Подія, яка не має наступних подій і відображає кінцеву мету проекту, називається завершальною.

При побудові сітьового графіка необхідно виконувати наступні правила [2–5]: для дійсних робіт використовуються суцільні стрілки, а для фіктивних – пунктирні; кожна операція повинна бути представлена тільки однією стрілкою; між одними і тими ж подіями не повинно бути паралельних робіт (робіт з однаковими кодами); слід уникати перетину стрілок; не повинно бути стрілок, спрямованих справа наліво; не повинно бути «вісячих» подій (що не мають попередніх подій), крім вихідної; не повинно бути тупикових подій (що не мають подальших подій), крім завершальної; не повинно бути циклів [4].

Побудову сітьового графіка починають з виявлення вихідних робіт моделі. Це деяка робота (кілька робіт), яка може виконуватися, без вичікування закінчення якихось інших робіт. Її початковою подією є вихідна подія. Завершальною роботою є та, після якої не повинні виконуватися ніякі інші роботи. Якщо кілька робіт мають загальну початкову і загальну кінцеву події, то вони є паралельними, мають однаковий код, що неприпустимо. Для усунення паралельності робіт вводять

додаткову подію і фіктивну роботу таким чином, щоб кінцеві події робіт розрізнялися [3–5].

Календарне планування передбачає визначення моментів початку і закінчення кожної роботи і інших тимчасових характеристик сітвого графіка. Це дозволяє проаналізувати сітвову модель, виявити критичні роботи, що безпосередньо визначають термін виконання проекту, провести оптимізацію використання ресурсів (часових, фінансових, виконавців). Розрахунок сітвової моделі починають з часових параметрів подій, які вписують безпосередньо в вершини сітвового графіка [2, 5].

Шлях – це послідовність робіт в сітвовому графіку, в якій кінцева подія однієї роботи збігається з початковою подією наступної за нею роботи. Повний шлях – це шлях від вихідної до завершальної події. Критичний шлях – максимальний за тривалістю повний шлях. Роботи, що лежать на критичному шляху, називають критичними. Критичні роботи мають нульові вільні і повні резерви часу [2, 3, 5].

Для проведення аналізу часових параметрів сітвової моделі використовують діаграму (графік) Ганта, яка відображає взаємозв'язок виконуваних робіт у часі [3, 4, 6]. По вертикальній осі відкладаються коди робіт, по горизонтальній осі – відрізки, що відповідають тривалості робіт (ранній початок і раннє закінчення робіт). Діаграму Ганта можна побудувати на основі даних про тривалість робіт. Основне правило складання: робота (i, j) , може виконуватися тільки після того, як будуть виконані всі попередні їй роботи (k, i) [2, 3, 5]. При пошуку критичних шляхів на сітвовому графіку використовуються наступні умови його критичності [4, 7]: необхідна умова – нульові резерви подій, що лежать на критичному шляху; достатня умова – нульові повні резерви робіт, що лежать на критичному шляху.

На наступному кроці розглянемо алгоритм побудови та застосування мережевого графіка. Щоб приступити до мережевого планування (моделювання) того чи іншого виробничого процесу необхідно мати перелік і тривалість виконання операцій, що відповідають даному виробничому процесу. Мережеве планування супроводжується побудовою робочих таблиць і мережевих графіків [2–5]. Таким чином, спочатку потрібно визначити перелік операцій (робіт), з яких складається ІТ-проект, тобто необхідно вирішити, наскільки дрібні роботи потрібно включити в графік. Результати можна записати в таблицю (табл. 1).

Мережеве планування та управління (СПУ) передбачає два варіанти побудови мережевої діаграми проекту: «ребро-робота» і «вершина-робота». При першому варіанті відображення діаграми реалізуються метод критичного шляху (СРМ) і метод PERT [1, 3, 4]. Метод має і іншу назву – «вершина-подія», що, по суті відображає іншу сторону єдиного змісту. В англійській інтерпретації даний варіант

Таблиця 1

Перелік операцій (робіт), з яких складається ІТ-проект

Поточна робота	Попередня робота	Тривалість роботи
А. Установка комп'ютерів	–	1
В. Протяжка мережі	–	2
С. Налаштування мережі	А, В	3
Д. Установка програмного забезпечення	С	1
Е. Розробка регламенту використання ПЗ	–	4
Ф. Навчання користувачів	Д, Е	3

побудови мережевої моделі по аббревіатурі називають АОА (Activity on Arrow Diagramming). Домінуюче місце в методі займають події проекту.

У мережевому графіку типу «вершина-подія», званому також «мережевою моделлю» (Arrow Diagramming Method, ADM), роботи зображують стрілками, а кожна стрілка повинна починатися і завершуватися подією, яке зображують кружком. Щоб побачити взаємозв'язок, вводять фіктивні. У мережевому графіку типу «вершина-робота», який називають також «діаграма передування» (Precedence Diagramming Method, PDM), роботи представлені «вершинами», зазвичай прямокутниками [1, 3, 4].

Тепер ми можемо побудувати сам мережевий графік проекту, який відображає послідовність виконання робіт, за вищевказаними правилами. Початковими роботами є А, В, Е, так як їм не передують ніякі роботи. Вони позначаються трьома стрілками, що виходять з початкової події 1. Далі наноситься робота С. Вона повинна починатися після закінчення виконання робіт А та В, які є паралельними (обидві починаються з події 1 і передують роботі С). Для їх розпаралелювання вводиться фіктивна робота І. Фіктивна робота зображується пунктирною лінією і її тривалість дорівнює нулю. Графічно робота С зображується стрілкою, що виходить з події 3, яка позначає завершення робіт А та В. Аналогічно наносяться інші роботи. Наш мережевий графік буде виглядати наступним чином (рис. 1).

На наступному етапі проведемо розрахунок мережевого графіка. Для цього потрібно ввести вхідні дані (рис. 2) та за допомогою формул і функцій розрахувати часові параметри подій.

Спочатку ми йдемо зліва направо і розраховуємо ранні терміни робіт (ранній початок і раннє закінчення), а потім справа наліво, отримуючи пізні терміни робіт (пізній початок і пізніше закінчення). Ранні терміни роботи – це раніше яких вона не може розпочатися (завершитися), пізні – крайні терміни її початку (завершення) [2, 3, 5]. Таким чином, згідно з правилом, визначення ранніх строків проводиться від вихідної події до завершальної [2, 3, 5]. Для вихідної події 1, очевидно, $T_p(1) = 0$. Для другої події $T_p(2) = T_p(1) + t(1,2) = 0 + 1 = 1$. Третій події передують дві події (перша і друга) тому $t_p(3) = \max [t_p(1) + t(1,3); t_p(2) + t(2,3)] = \max [0 + 2; 1 + 0] = \max [2, 1] = 2$. Аналогічно, визначаються ранні терміни звершення інших подій.

При визначенні пізніх термінів звершення подій розрахунок ведеться справа наліво (від завершальної до вихідної події) [2, 3, 5]. Для завершальної події пізній

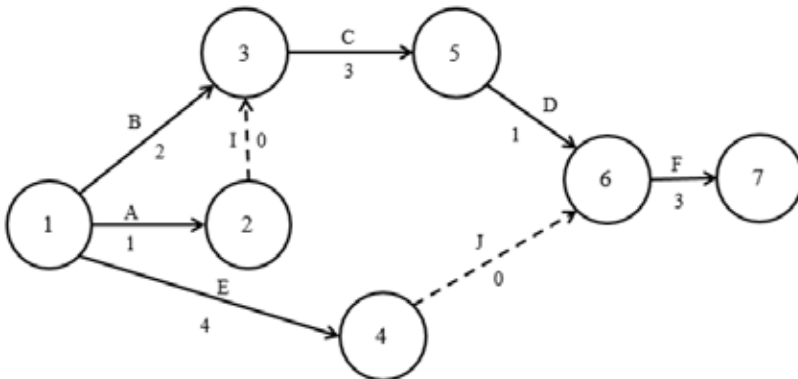


Рис. 1. Сітьова модель

	A	B	C	D
1	Роботи			
2				
3	Робота	Початок роботи (подія i)	Кінець роботи (подія j)	Тривалість роботи $t(i, j)$
4	A	1	2	1
5	B	1	3	2
6	C	3	5	3
7	D	5	6	1
8	E	1	4	4
9	F	6	7	3
10	I	2	3	0
11	J	4	6	0

Рис. 2. Вхідні дані

термін звершення події збігається з раннім терміном $t_n(7) = t_p(7) = 9$. Для шостої події пізній термін звершення дорівнюватиме $t_n(6) = t_n(7) - t(6,7) = 9 - 3 = 6$. Аналогічно визначаються пізні терміни звершення з п'ятою по другу події. Для першої події існують три наступні події (друга, третя і четверта) тому $t_n(1) = \min [t_n(2) - t(1,2); t_n(3) - t(1,3); t_n(4) - t(1,4)] = \min [2-1; 2-2; 6-4] = \min [1; 0; 2] = 0$. Потім розраховуються резерви $R(i)$ подій як різниця між пізнім і раннім терміном звершення i -ої події [2, 3, 5]. Наприклад, для четвертої події $R(4) = t_n(4) - t_p(4) = 6 - 4 = 2$ дня. Формули (а) та результат (б) обрахунків наведено на рис. 3.

Тепер можна побудувати сітьову модель з розрахованими часовими параметрами подій (рис. 4).

Мережевий графік лежить в основі методу критичного шляху – один з головних методів при проектуванні мереж, тому далі визначимо критичний шлях моделі [1–4]. Роботи, у яких ранні й пізні терміни збігаються, називаються критичними роботами проекту, а в сукупності вони утворюють його критичний шлях (КШ). Це найдовша послідовність робіт IT-проекту, яка визначає його тривалість. При управлінні IT-проектами дуже важливо знати і контролювати критичний шлях проекту, щоб не затягнути його реалізацію. Спочатку для цього сформулюємо математичну модель задачі (табл. 2) [14].

	A	B	C	D
14	Визначення часових параметрів подій			
15				
16	Подія	Ранній термін настання події i	Пізній термін настання події i	Резерв події i
17	i	$T_p(i)$	$T_n(i)$	$R(i)$
18	1	0	=MIN(C19-D4;C20-D5;C21-D8)	=C18-B18
19	2	=B18+D4	=C20-D10	=C19-B19
20	3	=MAX(B18+D5;B19+D10)	=C22-D6	=C20-B20
21	4	=B18+D8	=C23-D11	=C21-B21
22	5	=B20+D6	=C23-D7	=C22-B22
23	6	=MAX(B22+D7;B21+D11)	=C24-D9	=C23-B23
24	7	=B23+D9	=B24	=C24-B24

а) формули

	A	B	C	D
14	Визначення часових параметрів подій			
15				
16	Подія	Ранній термін настання події i	Пізній термін настання події i	Резерв події i
17	i	$T_p(i)$	$T_n(i)$	$R(i)$
18	1	0	0	0
19	2	1	2	1
20	3	2	2	0
21	4	4	6	2
22	5	5	5	0
23	6	6	6	0
24	7	9	9	0

б) результат

Рис. 3. Визначення часових параметрів подій

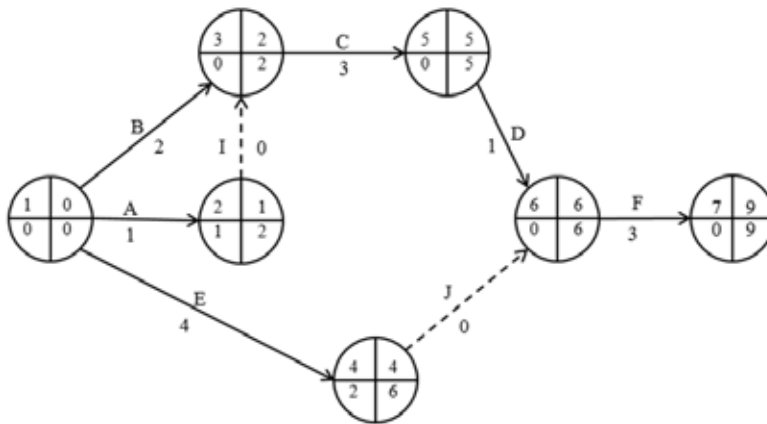


Рис. 4. Сітьова модель з розрахованими часовими параметрами подій

Для розрахунків використаємо широко розповсюджену систему, яка не потребує навиків програмування – MS Excel. Вона має надбудову «Розв'язувач», яка дозволяє знаходити розв'язок задачі лінійного програмування. Для цього слід сформулювати математичну модель – створити таблицю «Події» та у таблиці «Роботи» додати стовпчик «Дуга». У якості початкового наближення для вектора невідомих (Дуга) в таблиці «Роботи» обираємо значення, що дорівнюють нулю (рис. 5) [14].

В таблиці «Події» потрібно обрахувати стовпчик «Вхідні». Для цього встановити курсор у комірку Н4 (перша комірка стовпчика «Вхідні»). Використовуючи Майстер функцій (fx), обчислити функцію SUMIF (рис. 6), де у полі «Діапазон» ввести діапазон комірок $\$C\$4:\$C\11 (значення колонки «Кінець роботи») і натиснути клавішу F4, щоб зробити цю адресу абсолютною, у полі «Критерій» – адресу комірки, що визначає, які рядки попереднього діапазону вибираються для додавання – G4, а у полі «Діапазон для суми» – відповідно $\$E\$4:\$E\11 (значення колонки «Дуга») – цю адресу зробити також абсолютною і натиснути клавішу ОК. Продублювати за допомогою мітчика заповнення цю формулу у комірки Н5:Н10 (згідно з 2-ї по 7-му подію).

В таблиці «Події» обрахувати колонку «Вихідні» за допомогою функції SUMIF, де у полі «Діапазон» ввести діапазон комірок $\$B\$4:\$B\11 (значення колонки

Таблиця 2

Критерії оптимальності задачі знаходження критичного шляху

Знайти вектор $X = (x_1, \dots, x_i)$, де елемент $x_i=1$, якщо i -та дуга належить найдовшому шляху, і $x_i=0$ у протилежному випадку, i – порядковий номер дуги, такий, щоб:	
загальна довжина шляху:	$D = \sum d_i x_i \rightarrow \max$
при обмеженнях:	
умова збереження балансу потоків для кожного i -го вузла:	$F_{\text{вих}}(x_i) - F_{\text{вх}}(x_i) = 0$;
умова для вузла-джерела:	$F_{\text{вих}}(x_i) - F_{\text{вх}}(x_i) = 1$;
умова для вузла-сток:	$F_{\text{вих}}(x_i) - F_{\text{вх}}(x_i) = -1$;
граничні умови:	всі $x_i \geq 0$.
де d_i – довжина i -ої дуги; $F_{\text{вих}}(x_i)$, $F_{\text{вх}}(x_i)$ – сума потоків на вході та виході кожного i -го вузла.	

Роботи					Події				
Робота	Початок роботи	Кінець роботи	Тривалість роботи	Дуга	№ події	Вхідні	Вихідні	Вих-Вх	Обмеження
A	1	2	1	0	1				1
B	1	3	2	0	2				0
C	3	5	3	0	3				0
D	5	6	1	0	4				0
E	1	4	4	0	5				0
F	6	7	3	0	6				0
I	2	3	0	0	7				-1
J	4	6	0	0					

Рис. 5. Матриця математичної моделі задачі

«Початок роботи»), інші поля заповнити аналогічно, як при обрахуванні даних в колонці «Вхідні». Продублювати за допомогою мітчика заповнення цю формулу у комірки J5:J12 з 2-ї по 7-му подію.

В таблиці «Події» у колонці «Вих-Вх» кожен елемент формуємо за формулою «Вихідні-Вхідні». В таблиці «Події» колонку «Обмеження» слід заповнити дотримуючись умови збереження балансу потоків для кожного вузла: для вузла-джерела – Вихід-Вхід = 1; для проміжних вузлів – Вихід-Вхід = 0; для вузла-стоку – Вихід-Вхід = -1; всі невідомі більше нуля (див. рис. 5).

Обчислити цільову функцію задачі. Для цього, наприклад, у комірку H13 введемо її назву (КШ), а в комірці I13 обчислити функцію SUMPRODUCT (рис. 7), де у полі Масив 1 ввести діапазон комірок колонки «Дуга», а у полі Масив 2 – відповідно колонки «Тривалість роботи» і натиснути клавішу ОК.

Підрахунок критичного шляху (КШ) зробимо за допомогою надбудови «Розв'язувач» [14]. Для цього встановити курсор у комірку I13 – комірка цільової функції. Вибрати команду: вставка «Дані» → група «Аналіз» → піктограма «Розв'язувач». У вікні «Параметри розв'язувача» заповнити поля так, як показано на рис. 8 а.

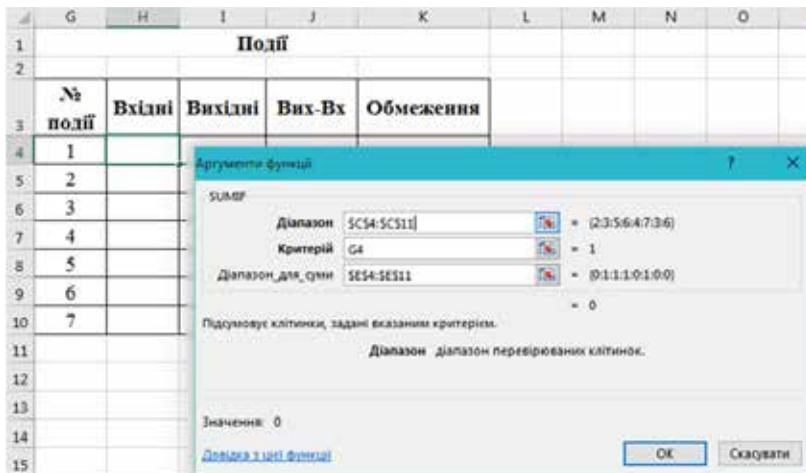


Рис. 6. Вікно функції SUMIF для обрахунку колонки «Вхідні» в таблиці «Події»

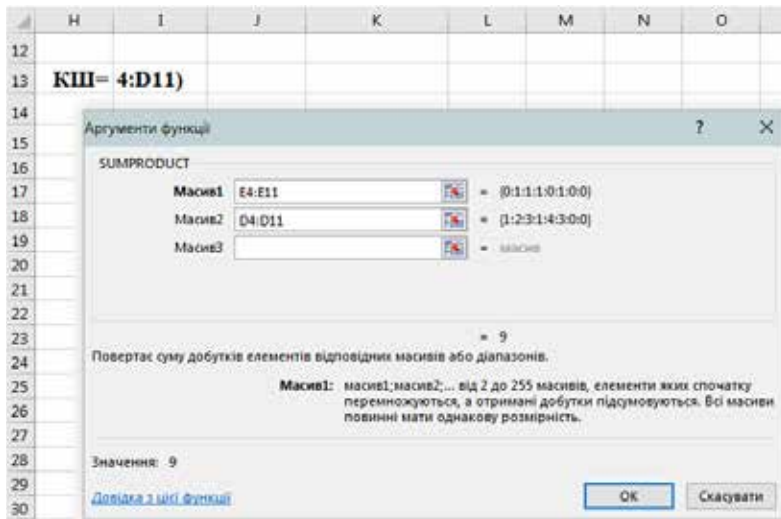
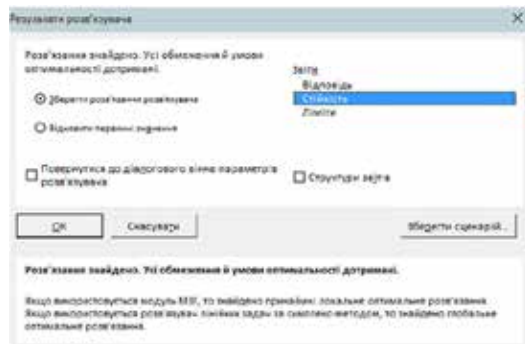
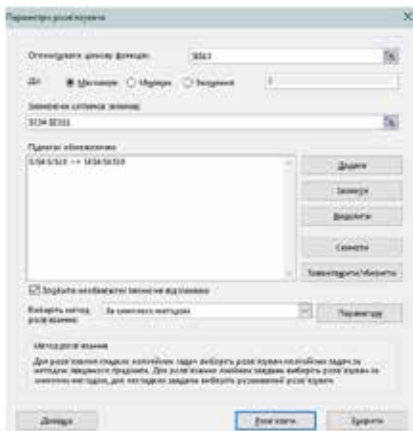


Рис. 7. Вікно функції SUMPRODUCT для визначення критичного шляху

Обмеження додавати за допомогою кнопки «Додати», потім натиснути кнопку «Розв'язати». В діалоговому вікні «Результати розв'язувача» (рис. 8 б) вибрати курсором в полі «Звіти» → «Стійкість» і натиснути клавішу ОК.

В результаті отримаємо (рис. 9) в комірках E4:E11 роботи, що входять до критичного шляху (роботи B, C, D і F), в комірці I13 – оптимальне значення цільової функції (КШ). Довжина критичного шляху дорівнює часу завершення останньої дев'ятої події: $t_{кр} = t_p(9) = 9$ (днів).

За результатами розрахунків отримали звіт – «Звіт про стійкість» (рис. 10), в якому нормовані вартості («Зменшена Вартість») некритичних робіт вказують на їхні резерви часу, тобто, показують, на скільки треба збільшити тривалість операції, щоб вона стала критичною.



а) Вікно надбудови «Розв'язувач»

б) Діалогове вікно «Результати розв'язувача»

Рис. 8. Визначення критичного шляху за допомогою надбудови «Розв'язувач»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Роботи					Події					
2											
3	Робота	Початок роботи	Кінець роботи	Тривалість роботи	Дуга	№ події	Вхідні	Вихідні	Вих-Вх	Обмеження	
4	A	1	2	1	0	1	0	1	1	1	
5	B	1	3	2	1	2	0	0	0	0	
6	C	3	5	3	1	3	1	1	0	0	
7	D	5	6	1	1	4	0	0	0	0	
8	E	1	4	4	0	5	1	1	0	0	
9	F	6	7	3	1	6	1	1	0	0	
10	I	2	3	0	0	7	1	0	-1	-1	
11	J	4	6	0	0						
12											
13											КШ= 9

Рис. 9. Результати надбудови «Розв'язувач»

Тіньові ціни («Тінь-Ціна») для вузлів визначають часткові КШ від першої події до всіх інших подій, включаючи сьому подію. При цьому нормовані вартості («Зменшена Вартість») некритичних робіт, що отримані за допомогою надбудови «Розв'язувач» мають співпадати з повними резервами часу, що отримані при обрахунках, а тіньові ціни використовують для знаходження найбільш пізнього терміну закінчення робіт [14].

Щоб оптимізувати проект за термінами, потрібно скорочувати роботи, що лежать на критичному шляху. Решта робіт (некритичні) мають тимчасові резерви: вільні і повні. Вільні резерви показують на скільки можна затримати роботу, не затримуючи жодної роботи-послідовника, а повні – на скільки можна затримати роботу, затримавши роботи-послідовники, але при цьому завершити проект в термін [4, 5, 7].

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	Клітинки змінних							
7			Остаточне	Зменшена	Цільова функція	Припустиме	Припустиме	
8	Клітинка	Назва	Значення	Вартість	Коефіцієнт	Збільшення	Зменшення	
9	\$E\$4	A Дуга	0	-1	1	1	1E+30	
10	\$E\$5	B Дуга	1	0	2	1E+30	1	
11	\$E\$6	C Дуга	1	0	3	1E+30	2	
12	\$E\$7	D Дуга	1	0	1	1E+30	2	
13	\$E\$8	E Дуга	0	-2	4	2	1E+30	
14	\$E\$9	F Дуга	1	0	3	1E+30	3	
15	\$E\$10	I Дуга	0	0	0	1	7	
16	\$E\$11	J Дуга	0	0	0	2	3	
17								
18	Обмеження							
19			Остаточне	Тінь	Обмеження	Припустиме	Припустиме	
20	Клітинка	Назва	Значення	Ціна	Права сторона	Збільшення	Зменшення	
21	\$J\$4	A Вих-Вх	1	9	1	1E+30	0	
22	\$J\$5	B Вих-Вх	0	7	0	1E+30	0	
23	\$J\$6	C Вих-Вх	0	7	0	1E+30	0	
24	\$J\$7	D Вих-Вх	0	3	0	1E+30	0	
25	\$J\$8	E Вих-Вх	0	4	0	1E+30	0	
26	\$J\$9	F Вих-Вх	0	3	0	1E+30	0	
27	\$J\$10	I Вих-Вх	-1	0	-1	1E+30	0	

Рис. 10. Результат – «Звіт про стійкість»

Визначення резервів часу виконання робіт												
Робота	Початок роботи	Кінець роботи	Тривалість роботи	Ранній термін початку роботи	Ранній термін настання пазі j	Ранній термін закінчення роботи	Пізній термін закінчення роботи	Пізній термін початку роботи	Повний резерв роботи	Вільний резерв роботи	Критичність	
	i	j	t_{ij}	$T_{pi}(i, j)$	$T_{pj}(j)$	$T_{pi}(i, j) + t_{ij}$	$T_{pi}(j)$	$T_{pi}(j) - t_{ij}$	$T_{pi}(j) - T_{pi}(i, j)$	$T_{pi}(j) - T_{pi}(i, j) - t_{ij}$		
A	1	2	1	0	2	1	2	1	1	1	-	
B	1	3	2	0	2	2	2	0	0	0	критична	
C	3	5	3	2	5	5	5	2	0	0	критична	
D	5	6	1	5	6	6	6	5	0	0	критична	
E	1	4	4	0	6	4	6	2	2	2	-	
F	6	7	3	6	9	9	9	6	0	0	критична	
I	2	3	0	1	2	1	2	2	1	1	-	
J	4	6	0	4	6	4	6	6	2	2	-	

Рис. 11. Визначення резервів часу виконання робіт

Таким чином, на наступному кроці визначимо вільні і повні резерви кожної роботи. Для цього за допомогою функції VLOOKUP, визначити ранній термін початку роботи – $T_{pi}(i, j)$ та пізній термін закінчення роботи – $T_{pi}(i, j)$. Всі інші показники визначити за формулами. Стовпчик «Критичність» заповнили за допомогою функції IF, в залежності від повного та вільного резервів робіт (рис. 11).

Наступним кроком планування зазвичай є побудова діаграми Ганта, яка, будучи по суті «надбудовою» над мережевим графіком, дає нам можливість наочно представляти календарний графік даного ІТ-проекту [3, 4, 6]. У розглянутому завданні робота з кодом (1-2) починається з нульової відмітки і, відповідно тривалість буде один день. Наступні роботи з кодом (1-3) і кодом (1-4) відкладаються також від нульової позначки. Аналогічно будуються всі інші роботи, що складають сітьову модель. У підсумку виходить діаграми Ганта сітьової моделі, представлена на рис. 12. Для наочності виділити критичні роботи червоним кольором, а ненульові вільні резерви робіт світло-сірим кольором.

Тепер слід нанести на сітьову модель з розрахованими часовими параметрами подій критичний шлях (рис. 13).

Висновки. Таким чином, такі роботи як протяжка мережі (B), налаштування мережі (C), установка програмного забезпечення (D) та навчання користувачів (F) є критичними і не мають резервів. Решта робіт мають тимчасові резерви: вільні і повні. Щоб оптимізувати проект за термінами, потрібно скорочувати роботи, що лежать на критичному шляху. Отже, застосування мережевого планування



Рис. 12. Діаграма Ганта сітьової моделі

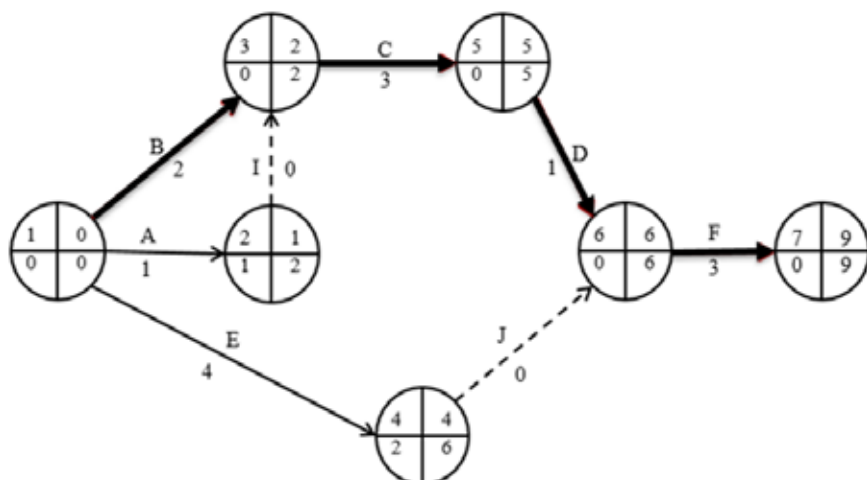


Рис. 13. Сітьова модель з розрахованими часовими параметрами подій і критичним шляхом

допомагає відповісти на такі питання: скільки часу потрібно для виконання всього проекту; коли повинні закінчуватися і починатися окремі роботи; які роботи є критичними і повинні виконуватися точно за графіком, щоб не зірвати терміни виконання проекту в цілому; на який термін можна відкласти виконання некритичних робіт, щоб це не вплинуло на терміни виконання проекту тощо. За допомогою табличного процесора MS Excel було розраховано часові параметрів подій, знайдено критичний шлях, визначено резерви часу виконання робіт. Все це дасть змогу оптимізувати управління даним ІТ-проектом.

Таким чином, мережеве планування має ряд переваг: забезпечує наочність технологічної послідовності робіт; дозволяє скласти оперативні та поточні плани, а також прогнозувати складні процеси; дозволяє виявити приховані ресурси часу і матеріальних засобів при виконанні виробничих процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гоєр О. Д. Сучасний погляд на проблеми управління проектами. *Актуальні проблеми міжнародних відносин*. 2012. Вип. 111(2). С. 125–135. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/армв_2012_111\(2\)_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/армв_2012_111(2)_17) (дата звернення: 27.02.2023).
2. Березін О. В., Безпарточний М. Г. Управління проектами: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2014. 272 с.
3. Єгорченков О. В., Єгорченкова Н. Ю., Катаєва Є. Ю. Азбука управління проектами. Планування: навчальний посібник. Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2017. 117 с.
4. Катренко А. В. Управління ІТ-проектами. [Книга 1. Стандарти, моделі та методи управління проектами]: [підручник]. Львів: «Новий Світ-2000», 2013. 550 с.
5. Нечволода Л. В., Пилипенко К. В. Удосконалення календарного планування виконання ІТ-проекту. *Економічний вісник Донбасу*. 2018. № 1(51). С. 87–91.
6. Фесенко Т. Г. Управління проектами: теорія та практика виконання проектних дій: навчальний посібник. Харків: ХНАМГ, 2012. 181 с.
7. Огірко О., Крап-Спісак Н. Інформаційна технологія управління проектами. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології*. 2016. № 843. С. 57–64. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPKNIT_2016_843_10 (дата звернення: 21.02.2023).

8. Юрчук Н. П. Система моніторингу в управлінні IT-проектами. *Ефективна економіка*. 2018. № 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6248> (дата звернення: 25.02.2023).
9. Башинська І. О., Хрїстова А. В. Використання сучасних інформаційних технологій управління проектами. *Економічний журнал Одеського політехнічного університету*. 2017. № 1. С. 16–22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ejoru_2017_1_6 (дата звернення: 25.02.2023).
10. Чайковська М. П. Комплексний підхід моделювання в управлінні IT-проектами. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2014. № 11. С. 590–596. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/evntukri_2014_11_90 (дата звернення: 20.02.2023).
11. Бойко Н. І. Багатомірне подання даних для управління IT-проектами. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі*. 2015. № 814. С. 387–394. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPKNIT_2016_843_10 (дата звернення: 22.02.2023).
12. Зеленська М. І., Голуб І. Г. Особливості розробки інформаційних систем управління IT-проектами із застосуванням методів економіко-математичного моделювання. *Інвестиції: практика та досвід*. 2014. № 4. С. 139–144.
13. Ткаченко О., Ткаченко К. Огляд сучасних систем управління IT-проектами. *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*. 2019. Т. 2. № 1. С. 27–40.
14. Кузьмичов А. І., Медведєв М. Г. Математичне програмування в Excel: навчальний посібник. Київ: Вид-во Європ. Ун-ту, 2005. 320 с.

REFERENCES:

1. Hoier, O. D. (2012). Suchasnyi pohliad na problemy upravlinnia proektamy [A modern glimpse of project management problems]. *Aktualni problemy mizhnarodnykh vidnosyn – Actual problems of international relations, 111(2)*. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apmv_2012_111\(2\)_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apmv_2012_111(2)_17) [in Ukrainian].
2. Berezin, O. V., & Bezpatochnyi, M. H. (2014). *Upravlinnia proektamy [Project management]*. Sumy: Universytetska knyha [in Ukrainian].
3. Yehorchenkov, O.V., Yehorchenkova, N.Yu., & Kataieva, Ye. Yu. (2017). *Azbuka upravlinnia proektamy. Planuvannia [ABC of project management. Planning]*. Kyiv: KNU im. T. Shevchenka [in Ukrainian].
4. Katrenko, A. B. (2013). *Upravlinnia IT-proektamy. [IT project management]. (Book 1. Standards, models and methods of project management)*. Lviv: «Novyi Svit-2000» [in Ukrainian].
5. Nechvoloda, L. V., & Pylypenko, K. V. (2018). Udoskonalennia kalendarnoho planuvannia vykonannia IT-proektu [Improvement of calendar planning for the IT projects]. *Ekonomichnyi visnyk Donbasu – Economic Herald of the Donbass, 1(51)*, 87–91 [in Ukrainian].
6. Fesenko, T. H. (2012). *Upravlinnia proektamy: teoriia ta praktyka vykonannia proektnykh dii [Project management: theory and practice of project action performance]*. Kharkiv: KhNAMH [in Ukrainian].
7. Ohirko, O., & Krap-Spisak, N. (2016). Informatsiina tekhnolohiia upravlinnia proektamy [Information technology of project management]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. *Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii – The Bulletin of Lviv Polytechnic National University titled “Computer sciences and information technologies”*, 843. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPKNIT_2016_843_10 [in Ukrainian].
8. Yurchuk, N. P. (2018). Systema monitorynhu v upravlinni IT-proektamy [Monitoring system in IT project management]. *Efektivna ekonomika – Effective economy, 4*. Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6248> [in Ukrainian].

9. Bashynska, I. O., & Khristova, A. V. (2017). Vykorystannia suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii upravlinnia proektamy [Usage of modern information technologies for project management]. *Ekonomichnyi zhurnal Odeskoho politekhnichnoho universytetu – Economic journal Odessa polytechnic university, 1*. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ejopu_2017_1_6 [in Ukrainian].
10. Chaikovska, M. P. (2014). Kompleksnyi pidkhid modeliuvannia v upravlinni IT-proektamy [Comprehensive approach to modelling in IT project management]. *Ekonomichnyi visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut» – Economic bulletin of National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», 11*. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/evntukpi_2014_11_90 [in Ukrainian].
11. Boiko, N. I. (2015). Bahatovymirne podannia danykh dlia upravlinnia IT-proektamy [Multi-measurement presentation for IT project management]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Informatsiini systemy ta merezhi – The Journal of Lviv Polytechnic National University «Information Systems and Networks», 814*. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPKNIT_2016_843_10 [in Ukrainian].
12. Zelenska, M. I., & Holub, I. H. (2014). Osoblyvosti rozrobky informatsiinykh system upravlinnia IT-proektamy iz zastosuvanniam metodiv ekonomiko-matematychnoho modeliuvannia [Peculiarities of the development of information management systems for IT projects with methods of economic and mathematical modelling]. *Investytsii: praktyka ta dosvid – Investments: practice and experience, 4*, 139–144 [in Ukrainian].
13. Tkachenko, O., & Tkachenko, K. (2019). Ohliad suchasnykh system upravlinnia IT-proektamy [Reviewing of modern IT project management systems]. *Ĭsyfrova platforma: informatsiini tekhnolohii v sotsiokulturnii sferi – Digital Platform: Information Technologies in Sociocultural Sphere, 2 (1)*, 27–40 [in Ukrainian].
14. Kuzmychov, A. I., & Medvediev, M. H. *Matematychno prohramuvannia v Excel [Mathematical programming in Excel]*. Kyiv: Vyd-vo Yevrop. Un-tu [in Ukrainian].
-