

УДК 005.4

DOI 10.47049/2226-1893-2021-2-159-172

ЗАСТОСУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ МЕРЕЖ В УПРАВЛІННІ ПРОЄКТАМИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

С.Д. Бушуєв

д.т.н., професор, зав. кафедри «Управління проектами»

В.Б. Бушуєва

к.т.н., доцент кафедри «Управління проектами»

І.П. Засуха

аспірант кафедри «Управління проектами»

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Анотація. Мережевий аналіз широко застосовується для планування і управління проектами. PERT і CPM, найбільш відомі методи мережевого моделювання, застосовувалися в різних проєктах для цілей планування і управління. Однак можливості PERT і CPM обмежені, що забороняє моделювання багатьох складних мережевих форм проєкту. Більш гнучким універсальним мережевим інструментом, якому останнім часом приділяється підвищена увага, є GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), GERT включає такі функції, як імовірнісне розгалуження (стохастичні моделі), сітьова петля (петлі зворотного зв'язку), кілька вузлів – приймачі (множинні результати) і реалізація декількох вузлів (повторювані події), які недоступні в PERT / CPM. Ці функції GERT надають користувачеві можливість моделювати і аналізувати проєкти і системи самого загального виду. Оскільки багато системних проблем реального світу дійсно пов'язані з імовірними подіями, помилковими запусками, повторенням дій і множинними результатами, GERT є ідеальним інструментом для моделювання і аналізу. Мета даної статті – описати методику моделювання мережі GERT і пакет імітаційного моделювання, а також продемонструвати його можливості на прикладі планування проєкту формалізованої моделі «КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗВИТОК ПРОДУКТУ X», як результат науково-дослідної роботи. В цей огляд GERT буде включено обговорення використання вихідних даних GERT для управлінського планування і контролю, включаючи аналіз чутливості і реалізацію.

Ключові слова: цифровізація, стохастичні мережі, технологія GERT, детермінована подія, управління проєктами.

© Бушуєв С.Д., Бушуєва В.Б., Засуха І.П., 2021

УДК 005.4

DOI 10.47049/2226-1893-2021-2-159-172

**ПРИМЕНЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
В ПРОЕКТАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО СЕКТОРА**

С.Д. Бушуев

д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Управление проектами»

В.Б. Бушуева

к.т.н., доцент кафедры «Управление проектами»

И.П. Засуха

аспирант кафедры «Управление проектами»

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев

Аннотация. *Сетевой анализ широко используется для планирования и управления проектами. PERT и CPM, наиболее известные методы сетевого моделирования, применялись в разных проектах для целей планирования и управления. Однако возможности PERT и CPM ограничены, что не позволяет моделировать многие сложные сетевые формы проекта. Более гибким универсальным сетевым инструментом, которому в последнее время уделяется повышенное внимание, является GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), GERT включает такие функции, как вероятностное разветвление (стохастические модели), сетевая петля (петли обратной связи), несколько узлов – приёмники (множественные результаты) и реализация нескольких узлов (повторяемые события), которые недоступны в PERT / CPM. Эти функции GERT дают пользователю возможность моделировать и анализировать проекты и системы самого общего вида. Так как многие системные проблемы реального мира действительно связаны с возможными событиями, ошибочными запусками, повторением действий и множественными результатами, GERT является идеальным инструментом для моделирования и анализа. Цель данной статьи – описать методику моделирования сети GERT и пакет имитационного моделирования, а также продемонстрировать его возможности на примере планирования проекта формализованной модели «КОНСТРУКТИВНОЕ РОЗВИТИЕ ПРОДУКТА X», как результат научно-исследовательской работы. В этот обзор GERT будет включено обсуждение использования исходных данных GERT для управленческого планирования и контроля, включая анализ чувствительности и реализацию.*

Ключевые слова: *цифровизация, стохастические сети, технология GERT, детерминированное событие, управление проектами.*

UDC 005.4

DOI 10.47049/2226-1893-2021-2-159-172

**APPLICATION OF STOCHASTIC NETWORKS
IN PUBLIC SECTOR DIGITALIZATION PROJECTS**

S.D. Bushuyev

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head Department of Project Management

V.B. Bushuyeva

Ph.d, Associate Professor, Department of Project Management

I.P. Zasukha

Post Graduate student, Department of Project Management

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Abstract. *Network analysis is widely used for planning and project management. PERT and CPM, the best-known network modeling techniques, have been used in various projects for planning and management purposes. However, the capabilities of PERT and CPM are limited, prohibiting the modeling of many complex networked design forms. A more flexible universal network tool that has received increased attention recently is GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), GERT includes functions such as probabilistic branching (stochastic models), network loop (feedback loops), multiple receiver nodes (multiple results) and implementation of multiple nodes (recurring events) that are not available in PERT / CPM. These GERT functions provide the user with the ability to model and analyze the most general designs and systems. Since many systemic problems in the real world are indeed related to probable events, false starts, repetition of actions and multiple results, GERT is an ideal tool for modeling and analysis. The purpose of this article is to describe the methodology for modeling the GERT network and the simulation modeling package, as well as demonstrate its capabilities using the example of planning a project of a formalized model «constructive DEVELOPMENT OF PRODUCT X», as a result of research work. This GERT review will include a discussion of the use of GERT raw data for management planning and control, including sensitivity analysis and implementation. To create a prototype, it is possible to develop a new technology for its manufacture A, adaptation of another technology B, based on experience. Building a formalized model begins with the empirical operationalization of two key technologies – «technology» (A) and «technology» (B). To preserve the logical structure of the network after the simplifications should check the stochastic correctness of the inputs and outputs of the nodes corresponding to the events, and if necessary, make possible adjustments.*

Transformation of a replacement network (or function) into a form that allows to determine the duration and probability of project implementation, as well as the calculation of these durations and probabilities.

Keywords: *digitalization, stochastic networks, GERT technology, deterministic event, project management.*

Вступ. Дослідження пов'язані з практичним застосуванням формалізованої моделі «КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗВИТОК ПРОДУКТУ Х» за допомогою стохастичної мережі, як концептуальної моделі, яка може бути кінцевим продуктом проекту, а може бути проміжним кроком на шляху від попереднього опису об'єкта до його формалізованої моделі у системі управління проектами цифровізації державного сектора. Формалізована модель описує об'єкт, зв'язки його компонентів на мові математики та формальної логіки. Маючи формалізовану модель, можна кількісно оцінити ефекти взаємодії факторів, структуру об'єкта. У дослідженні розглянуті графічні моделі і застосовувалися математичні розрахунки, як приклад розрахованих ймовірностей і тривалості виконання робіт, за якими можна стверджувати, що реалізація робіт «Розробка плану створення та виготовлення прототипу проекту цифровізації» може мати практичне застосування в системі управління цифровізацією державного сектора України. Побудова і використання формалізованої моделі при формуванні процесного блоку системи управління проектами цифровізації, де стохастичні мережі широко застосовуються на практиці, дуже важливий крок на шляху реалізації системи управління проектами цифровізації державного сектора.

Метод графічної оцінки і перегляду програм (GERT), дозволяє врахувати ризик зміни складу робіт при настанні певних подій або за результатами виконання попередніх робіт з урахуванням невизначеності [1; 2]. У сітьовій моделі GERT можуть створюватися точки розгалуження або точки вибору, після яких плануються кілька незалежних ланцюжків робіт, не всі з яких виконуються.

Метод GERT дозволяє визначити очікувану тривалість (OT) робіт проекту на основі трьох імовірнісних оцінок часу. Сітьова модель являє собою вірогідну мережу, що враховує можливість різного складу робіт проекту. Результатом моделювання по методу GERT з'являються кілька графіків, які враховують ймовірність різної тривалості і невизначеність складу робіт проекту.

Для створення прототипу можлива розробка нової технології його виготовлення А або адаптація іншої технології В, що базується на накопиченому досвіді. Побудова формалізованої моделі починається з емпіричної операціоналізації двох ключових технологій – «технологія» (А) і «технологія» (В).

Постановка задачі досліджень. Метою статті є застосування основних концепцій і основ сітьової техніки GERT для управління проектами та демонстрація її використання на прикладі можливих застосувань статистичних результатів GERT для планування. Однак слід пам'ятати, що GERT може обробляти надзвичайно складні проекти, а також поточні системи. Таким чином, представлений матеріал пропонує лише поверхневе уявлення про те, чого насправді можна досягти за допомогою техніки GERT. При цьому проводяться дослідження опису проекту формалізованої моделі «КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗВИТОК ПРОДУКТУ Х» при створенні та виготовленні прототипу за допомогою стохастичної мережі у системі управління проектами цифровізації державного сектора.

Виклад основного матеріалу. Як приклад опису проекту за допомогою стохастичної сітьової моделі розглянемо фрагмент проекту «Конструктивний розвиток продукту Х», що відноситься до плану створення та виготовлення прототипу цифрової технології у системі державного управління. Для досягнення поставленої мети ведуть кілька шляхів: можлива розробка абсолютно нової технології виготовлення прототипу (технологія А), адаптація раніше застосовувалася в виробничому процесі технології В або придбання у відповідного постачальника готових рішень і елементів, необхідних для створення прототипу продукту проекту. З кожним можливим рішенням пов'язані певні роботи, що призводять до вибору остаточного варіанту моделі проекту. Швидше за все при виборі технології А потрібно доопрацювання її документації за результатами попередніх досліджень, а після перевірки внесених змін відділом прототипів. Таким чином виникають свого роду цикли робіт, що повторюються в залежності від якості отриманих рішень, – вони або приймаються, або відправляються на коригування. В результаті одна з двох технологій або навіть обидві можуть бути відхилені на користь варіанту придбання готових рішень зовнішніх постачальників. Обговорювана ситуація ілюструється на рис. 1.

Вихід з події 1 імовірнісний, оскільки для створення прототипу можлива розробка нової технології його виготовлення А, адаптація іншої технології В, що базується на накопиченому досвіді, або закупівля готових деталей прототипу у зовнішнього постачальника. Вихід події 2 теж імовірнісний, оскільки в результаті розробки технології А необхідна подальша перевірка її основних положень відділом прототипів з можливим доопрацюванням.

Вхід на подію 2 буде входом типу «виключне АБО», оскільки подія може наступити в результаті закінчення однієї з трьох взаємовиключних робіт: або як наслідок розробки технології А, або як наслідок її доопрацювання, або як наслідок її коригування після перевірки відділом прототипів.

Доопрацювання технології А

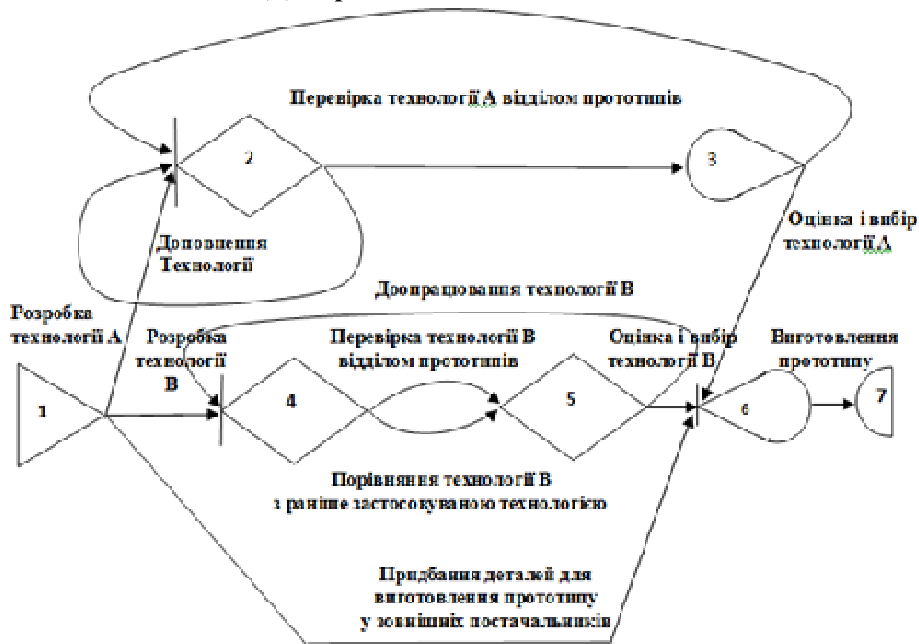


Рис. 1. Приклад ілюстрації складного заходу «Розробка плану створення та виготовлення прототипу» за допомогою стохастичної мережі

Вхід події 3 має характер «АБО», оскільки для його настання необхідно завершення всіх попередніх робіт, а значить, і створення технології, і її подальшої перевірки відділом прототипів.

Вихід події 3 імовірнісний, оскільки в результаті його настання можливі позитивна оцінка і вибір технології А або виникнення необхідності доопрацювати цю технологію з поверненням до другої події. Аналогічно виглядає опис подій, пов'язаних з технологією В, проте в цьому випадку вхід події 5 матиме альтернативний характер типу «АБО». Подія 5 настане тоді, коли закінчиться будь-яка з попередніх робіт, тобто перевірка доопрацювання технології відділом прототипів або порівняння технології В з накопиченими досягненнями в створенні прототипів. Вхід події 6 має альтернативний характер типу «виключне АБО», оскільки для створення прототипу буде використаний тільки один з трьох можливих підходів: застосування технології А або В або використання готових деталей, закуплених у зовнішніх постачальників. У той же час вихід події 6 детермінований, оскільки після прийняття рішення про вибір технології створення прототипу починається його виготовлення.

Збір числових даних, що характеризують кожну дугу мережі. Розроблена типологія вершин мережі дозволить використовувати для опису сітьових (мережевих) технологій графі потоків сигналів SFG (Signal Flow Graphs).

Граф SFG визначається як впорядкована пара $G = \langle W, T \rangle$, де $\langle W, T \rangle$ – деяка система лінійних рівнянь;

W – множина кінцевих вершин w_i , тобто $W = \{w_i\}$; вершина w_i позначає деяку змінну, наприклад, стан, роботу, технологію;

T – кінцева множина переміщень t_{ij} , тобто $T = \{t_{ij}\}$; переміщення визначені на множині U упорядкованих пар $\langle w_i, w_j \rangle$, тобто $U = \{ \langle w_i, w_j \rangle \}$; кожну таку впорядковану пару можна позначити символом u_{ij} , тобто $u_{ij} = \langle w_i, w_j \rangle$; існують переміщення t_{ji} , зворотні переміщенням t_{ij} , причому в загальному випадку $t_{ji} \neq t_{ij}$;

U_{ij} – функціональні залежності між вершинами w_i і w_j , звані дугами, якщо $w_i \neq w_j$; якщо ж $w_i = w_j$, то u_{ij} називається петлею першого порядку;

S – множина впорядкованих пар $\{u_{ij}, u_{jk}, u_{kl}, u_{li}\}$, званих петлями другого порядку або контурами (циклами).

Надалі методологічні пропозиції розвинені за допомогою алгебри графів і використовуються як елементи мережі GAN.

Приклад. У проекті створення та виготовлення прототипу продукту вузлами графа будуть події, що визначають досягнення певних станів і позначаються послідовними натуральними числами. Функціональні залежності між вузлами, тобто дуги, будуть позначатися назвами робіт. В якості характеристик конкретних дуг будуть використовуватися ймовірність виконання роботи і її тривалість. До складу заходу входять наступні роботи:

– розробка технології A – робота, ймовірність реалізації якої $p_1 = 40\%$, а тривалість виконання $t_1 = 7$ тижням;

– після розробки фірмою технології A може знадобитися її подальша доробка, що може статися з ймовірністю $p_2 = 10\%$ при тривалості виконання $t_2 = 1$ тиждень;

– однак з ймовірністю $p_3 = 90\%$ можна припустити, що технологія A не зажадає доопрацювання і буде передана для перевірки до відділу прототипів; тривалість виконання цієї роботи $t_3 = 2$ тижня;

– результат перевірки може бути сприятливим або несприятливим; з ймовірністю $p_4 = 20\%$ технологію A доведеться коригувати, ця робота триватиме $t_4 = 3$ тижня і зажадає повторення перевірки у відділі прототипів або нового доопрацювання;

– однак з ймовірністю $p_5 = 80\%$ можна припустити, що технологія A отримає остаточну оцінку і буде розглядатися нарівні з іншими пропозиціями; тривалість виконання цієї роботи $t_5 = 1$ тиждень;

– альтернативним технології A способом майбутнього створення прототипу може стати розробка технології B , заснованої на попередньому

досвіді підприємства; вона менше імовірна – $p_6 = 30\%$, але тривалість виконання цієї роботи менше і дорівнює: $t_6 = 5$ тижнів;

– розроблена технологія В може бути піддана перевірці в відділі прототипів, $p_7 = 60\%$, тривалість виконання, так само, як і в випадку перевірки технології А, складе: $t_7 = 2$ тижня;

З ймовірністю $p_8 = 40\%$ технологія В перевірятиметься шляхом порівняння з уже вживаними технологіями не в відділі прототипів, а в виробничому відділі; тривалість такої перевірки дорівнює $t_8 = 3$ тижня;

– результатом досліджень технології В може стати підтвердження необхідності її доопрацювання, що відбудеться з вірогідністю $p_9 = 10\%$ і займе $t_9 = 2$ тижня;

– після перевірки з ймовірністю $p_{10} = 90\%$ будуть виконана остаточна оцінка технології В і її вплив на остаточний вибір рішення; тривалість виконання такої роботи $t_{10} = 1$ тиждень;

– закупівля деталей прототипу у зовнішнього постачальника може стати альтернативою розробки обох технологій; ймовірність цього дорівнює ймовірності розробки технології В, тобто $p_{11} = 30\%$, а тривалість виконання $t_{11} = 6$ тижнів;

– після остаточного вибору підприємством одного з трьох способів створення прототипу почнеться його виготовлення; ця робота повністю визначена $p_{12} = 100\%$, а для її виконання потрібно $t_{12} = 7$ тижнів.

Описана ситуація ілюструється рис. 2.

Мінімізація параметрів стохастичної мережі. Цей етап полягає у спрощенні мережі із застосуванням різних методів аж до отримання менш складної мережі (або функції), яка однозначно відображає оригінальну мережу.

При використанні технології GERT для аналізу стохастичних мереж проводяться численні послідовні спрощення їх структури. Ці спрощення зводяться до об'єднання робіт, перерахунок яких не представляє ніякої складності. Чергові скорочення мережі полягають в заміні послідовних і паралельних комбінацій дуг, розгалужень, петель і контурів що заміщають ці дуги.

Після виконання певної кількості операцій скорочення можна отримати мережу, мінімізовану до елементарної форми або навіть до одичної функції.

Для подальших міркувань припустимо, що кожна дуга мережі описується двовимірним вектором $[p_i, t_i]$, де p_i – ймовірність реалізації i -ї дуги за умови, що подія, якій відповідає вихідний вузол, здійснилося, а t_i – тривалість виконання роботи, відповідної i -ї дуги, що має не негативне дійсне значення. Тривалість виконання роботи вважається детермінованою величиною.

Доопрацювання технології А

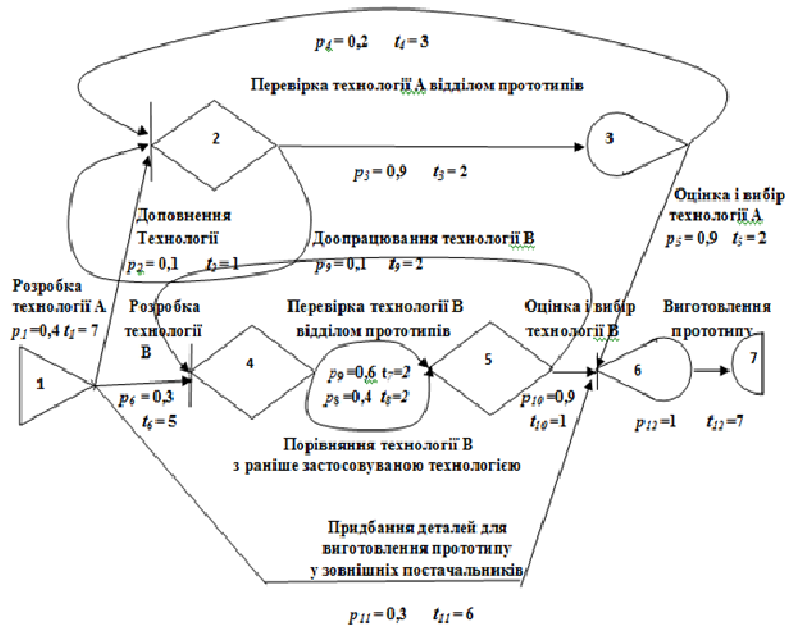


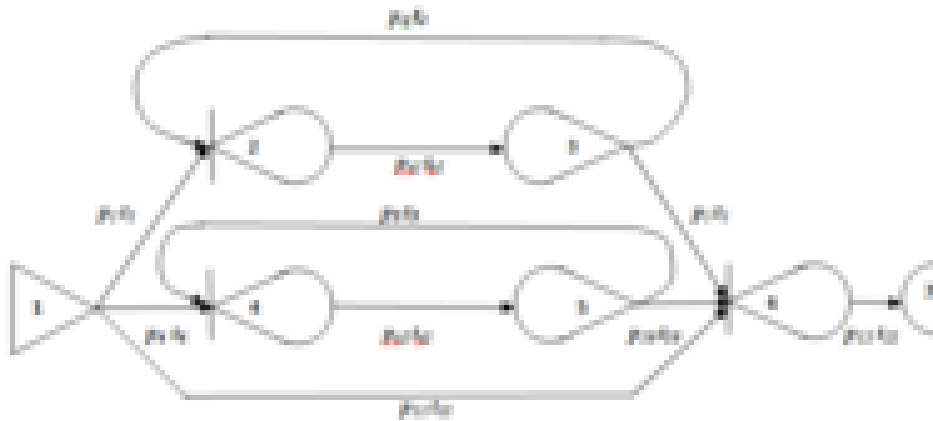
Рис. 2. Складний захід «Розробка плану створення і виготовлення прототипу» з чисельними даними, що характеризують конкретні дуги

Нижче наводиться кілька характерних випадків скорочення фрагментів мережі залежності. Скорочення проведено з використанням елементів алгебри графів. З об'єднання методологічних пропозицій виникли стохастичні мережі, такі як графи SFN. Ці графи використовують типологію вершин мережі GAN.

Для збереження логічної структури мережі після проведених спрощень слід перевірити стохастичну коректність входів і виходів вузлів, відповідних подіям, і в разі необхідності ввести можливі коригування. У розглянутому прикладі внаслідок скорочення петлі і паралельних дуг виникли дуги, які змінили логічні зв'язки між вузлами 2-3 і 4-5. Тепер вони мають детермінований характер, оскільки новосформовані роботи не мають альтернатив. Скоригована схема мережі, яка враховує це зауваження, показана на рис. 3.

У результаті проведених скорочень отримана спрощена мережа робіт «Розробка плану створення та виготовлення прототипу», яка зведена до однієї дуги з наступними характеристиками:

- ймовірність реалізації заходу $p_{s8} = p_{s7} p_{12}$;
- тривалість реалізації заходу $t_{s8} = t_{s7} + t_{12}$.



*Рис. 3. Спрощена стохастична мережа робіт
«Розробка плану створення та виготовлення прототипу»
після перевірки логічних зав'язків входів і виходів вузлів 2-3 і 4-5*

Перетворення цієї мережі (або функції) до форми, що дозволяє визначити тривалості і ймовірності реалізації проекту, а також розрахунок цих тривалостей і ймовірностей. У результаті проведених спрощень вихідної мережі побудована мережа, яка заміщує базову модель. Наступний етап – визначення тривалості та ймовірності реалізації описуваної мережі робіт на основі висунутих припущень щодо доступної інформації або з використанням випадкових змінних. Значення очікуваної тривалості і ймовірності розраховуються за вихідними даними з використанням формул, що описують спрощену структуру заходів і характеристики дуг мережі.

У результаті проведених досліджень та згідно з визначеними припущеннями про характеристики конкретних робіт, що входять до складу аналізованих заходів, будемо ґрунтуватися на характеристиках дуг мережі, представлених у таблиці.

Таблиця

Характеристики дуг мережі

$p_1 = 0,4$	$p_2 = 0,1$	$p_3 = 0,9$	$p_4 = 0,2$	$p_5 = 0,8$	$p_6 = 0,3$
$t_1 = 7$	$t_2 = 1$	$t_3 = 2$	$t_4 = 3$	$t_5 = 1$	$t_6 = 5$
$p_7 = 0,6$	$p_8 = 0,4$	$p_9 = 0,1$	$p_{10} = 0,9$	$p_{11} = 0,3$	$p_{12} = 0,1$
$t_7 = 2$	$t_8 = 3$	$t_9 = 2$	$t_{10} = 1$	$t_{11} = 6$	$t_{12} = 7$

На основі розрахованих ймовірностей і тривалості виконання робіт можна стверджувати, що реалізація заходу «Розробка плану створення та виготовлення прототипу» триватиме 16,03 тижні.

Висновки. Аналіз і оцінка результатів. У разі негативної оцінки отриманих моделей слід повернутися до розгляду нових варіантів побудови стохастичної мережі, а також до вивчення можливості поліпшення характеристик конкретних дуг мережі за рахунок іншої комбінації їх параметрів. Отримана в результаті послідовних скорочень мережева модель сконструйована коректно. Підтвердженням цього служать отримані на різних етапах спрощення значення ймовірностей, що не перевищують одиницю (більше значення свідчило б про помилку в розрахунках або про некоректний спосіб підбору дуг, які заміщують попередні варіанти). Більш ефективно спрощення вихідної мережі неможливо, оскільки вона зведена до єдиної дуги. На поточному етапі можна застосувати технологію GERT для перевірки тривалості реалізації заходу при інших характеристиках дуг з використанням отриманих формул опису мережі. При цьому можна отримати відповідь на питання: чи скоротиться (і якщо так, то наскільки) тривалість створення прототипу, якщо підвищиться ймовірність розробки підприємством технології В, або як вплине на реалізацію проекту збільшення часу, виділеного на доопрацювання технології, з одного до двох тижнів, при тому, що ймовірність такого доопрацювання знизиться на 5 % через прийом на роботу нових фахівців.

ЛІТЕРАТУРА

1. Elmaghraby, S.E. *An Algebra for the Analysis of Generalized Activity Networks / Management Science*. 1964. № 3.
2. Elmaghraby, S.E. *The Theory of Networks and Management Science. Part 2 / Management Science*. 1970. № 3.
3. Mohamed, S., McCowan, A.K. (2001.) *Modelling project investment decisions under uncertainty using possibility theory // Int. J. Project Management*, 19. P. 231-241.
4. Liang, G.S. and Wang, M.J. (1991) *A fuzzy multi criterion decision making for facility site selection // International Journal of Production Research*, 29. P.2313-2330.
5. Chan, D.Y. *Application of extent analysis method in fuzzy AHP// European Journal of Operation Research*, (1996). № 95. P. 649-655.
6. Lee, J.W. and Kim, S.H. *Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection // Computers & Operations Research*, (2000). № 27. P. 367-382.

7. Kahraman, C, Cebeci, U. and Ruan, D. *Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: the case of Turkey // International Journal of Production Economics*, (2004). № 87. P. 171-184.
8. Huang, X. (2007). *Optimal project selection with random fuzzy parameters // Int. J. Production Economics*, 106. P. 513-522.
9. Lai, Y.J., Lai, H.C. (1993) *Possibilistic linear programming for managing interest rate risk // Fuzzy Sets and Systems*, 54. P. 135-146.
10. Bondar, A., Bushuyev, S., Bushuieva, V., Bushuyeva, N., Onyshchenko S. *Modelling of Creation Organisational Energy-Entropy*, (2020): *IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Zbarazh, Ukraine, (2020): 141-145.*
11. Saaty, T. (1990). *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process // European Journal of Operational Research*, 48. P. 9-26.
12. Bondar, A, Bushuyev, S., Onyshchenko, S., Tanaka, H. *Entropy Paradigm of Project-Oriented Organizations Management (2020) Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020) Volume I. Lviv, Ukraine, February 18-20, (2020), CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), (2020): 233-243 .*
13. Bushuyev, S., Bushuieva, V., Onyshchenko, S., Bondar, A. *Modeling the Dynamics of Information Panic in Society. (2021); Proceedings of The Fourth International Workshop on Zaporizhzhia, Ukraine, April 27, 2021; CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2864, 400-408 .Piterska, V., Shakhov, A., Lohinov, O. and Lohinova, L. The Method of Transfer of Research Project Results of Institution of Higher Education, 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019). Lviv, Ukraine, 2019. P. 77-80.*
14. Bondar, A., Bushuyev, S., Bushuieva, V., Onyshchenko, S. *Complementary strategic model for managing entropy of the organization (2021); Proceedings of the 2nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2021) Slavsko, Lviv region, Ukraine, February 16-18, 2021. CEUR Workshop Proceedings, 2021.*
15. Bushuyev, S., Bushuiev, D., Bushuieva, V. *Modelling of emotional infection to the information system management project success Advances in Intelligent Systems and Computing*, (2021). 1265 AISC. P. 341-352.
16. Bushuyev, S., Babayev, J., Bushuiev, D., Kozyr, B. *Emotional Infection of Management Innovation SMART Government Projects 2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit, E-TEMS (2020).*

REFERENCES

1. Elmaghraby S.E. *An Algebra for the Analysis of Generalized Activity Networks / Management Science*. 1964. № 3.
2. Elmaghraby S.E. *The Theory of Networks and Management Science. Part 2 / Management Science*. 1970. № 3.
3. Mohamed, S., McCowan, A.K. (2001). *Modelling project investment decisions under uncertainty using possibility theory // Int. J. Project Management*, 19. P. 231-241.
4. Liang, G.S. and Wang, M.J. (1991) *A fuzzy multi criterion decision making for facility site selection // International Journal of Production Research*, 29. P. 2313-2330.
5. Chan, D.Y. *Application of extent analysis method in fuzzy AHP // European Journal of Operation Research*, (1996). № 95. P. 649-655.
6. Lee, J.W. and Kim, S.H. *Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection // Computers & Operations Research*, (2000). № 27. P. 367-382.
7. Kahraman, C, Cebeci, U. and Ruan, D. *Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: the case of Turkey // International Journal of Production Economics*, (2004). № 87. P. 171-184.
8. Huang, X. (2007). *Optimal project selection with random fuzzy parameters // Int. J. Production Economics*, 106. P. 513-522.
9. Lai, Y.J., Lai, H.C. (1993) *Possibilistic linear programming for managing interest rate risk // Fuzzy Sets and Systems*, 54. P. 135-146.
10. Bondar, A., Bushuyev, S., Bushuieva, V., Bushuyeva, N., Onyshchenko S. *Modelling of Creation Organisational Energy-Entropy*, (2020): *IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Zbarazh, Ukraine, (2020): 141-145.
11. Saaty, T. (1990). *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process // European Journal of Operational Research*, 48. P. 9-26.
12. Bondar, A, Bushuyev, S., Onyshchenko, S., Tanaka, H. *Entropy Paradigm of Project-Oriented Organizations Management (2020) Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020) Volume 1. Lviv, Ukraine, February 18-20, (2020), CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), (2020): 233-243.*
13. Bushuyev, S., Bushuieva, V., Onyshchenko, S., Bondar, A. *Modeling the Dynamics of Information Panic in Society. (2021); Pro-*

- ceedings of The Fourth International Workshop on Zaporizhzhia, Ukraine, April 27, 2021.; CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2864, 400-408.*
14. *Piterska, V., Shakhov, A., Lohinov, O. and Lohinova, L. The Method of Transfer of Research Project Results of Institution of Higher Education, 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019). Lviv, Ukraine, 2019. P. 77-80.*
 15. *Bondar, A., Bushuyev, S., Bushuieva, V., Onyshchenko, S. Complementary strategic model for managing entropy of the organization (2021); Proceedings of the 2nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2021) Slavsko, Lviv region, Ukraine, February 16-18, 2021. CEUR Workshop Proceedings, 2021.*
 16. *Bushuyev, S., Bushuiev, D., Bushuieva, V. Modelling of emotional infection to the information system management project success Advances in Intelligent Systems and Computing, (2021). 1265 AISC. P. 341-352.*
 17. *Bushuyev, S., Babayev, J., Bushuiev, D., Kozyr, B. Emotional Infection of Management Innovation SMART Government Projects 2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit, E-TEMS (2020).*

Стаття надійшла до редакції 26.04.2021

Посилання на статтю: Бушусь С.Д., Бушусьва В.Б., Засуха І.П. Застосування стохастичних мереж в управлінні проектами цифровізації // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2021, № 2(65). С. 159-172. DOI 10.47049/ 2226-1893-2021-2-159-172.

Article received 26.04.2021

Reference a JournalArtic: Bushuyev S.D., Bushuyeva V.B., Zasukha I.P. Application of stochastic networks in managing digitalization projects // Herald of the Odessa national maritime university. 2021, № 2. 159-172. DOI 10.47049/ 2226-1893-2021-2-159-172.