

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 69:[658.5:519.876.5]

М. О. ПОЛТАВЕЦЬ^{1*}, І. А. АРУТЮНЯН², М. А. АЖАЖА³

^{1*} Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38 (050) 710 00 58, ел. пошта poltavmar@ukr.net, ORCID 0000-0003-0504-5278

² Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38 (066) 900 78 28, ел. пошта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

³ Кафедра менеджменту організації та управління проектами, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38 (066) 911 84 05, ел. пошта azazmarina17@gmail.com, ORCID 0000-0001-6067-3926

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕНДЕНЦІЇ ГАРМОНІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІД ЧАС ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ БУДІВНИЦТВА

Мета. Наукове формування алгоритмічного забезпечення процесів організації та управління будівництва із застосуванням метаевристичних методів при вирішенні практичних завдань оптимального керування нелінійними динамічними виробничими системами. **Методика.** Використання метаевристичних методів оптимізації, системного аналізу та системотехнічного обґрунтування, використання методів теорії систем, використання методів теорії моделювання з метою перспективного управління виробничими системами будівельної галузі на основі загальних законів і принципів гармонійності. **Результати.** Виконано наукове формування концепції гармонійної оптимізації виробничих систем будівництва за метаевристичною методикою золотого перетину. Розроблена схема роботи методу золотого перетину в оптимізаційних задачах будівельного виробництва та виконана детальна візуалізація цього методу за рівнями симетрії. Обґрунтовані шляхи застосування принципів гармонійного менеджменту в оптимізації будівельних виробничих систем у напрямі до стійкого та логічного розвитку. Розкриті складові гармонійного виробництва у покращенні взаємодії різних підрозділів і прискоренні реакції на швидкі зміни, що пришвидшить рівень успішної роботи будь-якої організації. **Наукова новизна.** Запропонована концепція гармонійної оптимізації виробничих систем будівництва за метаевристичною методикою золотого перетину. Розроблена схема роботи методу золотого перетину в оптимізаційних задачах будівельного виробництва та виконана детальна візуалізація цього методу за рівнями симетрії. **Практична значимість.** Використання оптимізаційних заходів з підвищення ефективності будівельного виробництва запропоновано реалізовувати за розробленим базовим алгоритмом оптимізації функціонування будівельної виробничої системи за концепцією методу золотого перетину. **Висновки.** Виконано обґрунтування шляхів застосування принципів гармонійного менеджменту в оптимізації будівельних виробничих систем у напрямі до стійкого та логічного розвитку. Розкриті складові гармонійного виробництва у покращенні взаємодії різних підрозділів і прискоренні реакції на швидкі зміни, що пришвидшить рівень успішної роботи будь-якої організації. Результатом чого є створення всіх умов для гармонійної взаємодії виконавців та техніки на всіх рівнях управління будівництвом, що підтверджує необхідність розвитку сучасних підходів виробництва за принципам гармонійності.

Ключові слова: будівництво; гармонізація; виробнича система; оптимізація; золотий перетин; менеджмент; організація; алгоритм; моделювання

Вступ

Відмінною рисою більшості актуальних науково-технічних задач проектування виробничих систем та управління ними є пошук раціональних рішень в багатомірному просторі альтернатив. Внутрішня архітектура виробничих систем складається з неоднорідних елементів, де кожен несе своє функціональне і специфічне навантаження в досягненні кінцевого результату. До складу будь-яких функціональних систем входять інженерні дослідження, техніко-економічне обґрунтування, проектування,

об'ємно-планувальні і конструктивні рішення проектів, методи їх реалізації, управління виробництвом та експлуатація. В таких умовах виникає проблема ефективного співвідношення цілого та його елементів (часток), яке супроводжується гармонійним поєднанням окремих виробничих операцій (або їх частин) між виконавцями (відділами, підрозділами), враховуючи кваліфікаційний рівень, досвід та ступінь відповідальності (Иванус, 2005; Arutunian, Poltavets, Achacha, Bondar, Pavlov, Gerasymenko, & Kulinich, 2021).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Складні системи вимагають адекватного підходу до їх управління, тобто реалізації відповідних функцій. Вони мають складну структуру, яка реалізує конкретні функції. Прорахунки та помилки в стратегії управління, структурна плутанина, фінансове свавілля стає наслідком помилкової цілеспрямованості в бізнесі. Тому, останнім часом все частіше в науці використовуються новітні методи оптимізації, які концептуально відрізняються від традиційних та засновані на характеристиках функціонування біологічних, молекулярних, фізичних та нейробіологічних систем.

Мета

Наукове формування алгоритмічного забезпечення процесів організації та управління будівництва із застосуванням метаевристичних методів при вирішенні практичних завдань оптимального керування нелінійними динамічними системами.

Методика

Показники якості та характеристики виробничих систем в будівництві описуються нелінійними залежностями та оцінюються за допомогою складних моделюючих алгоритмів, що обумовлює високу трудомісткість обчислень при вирішенні задач оптимізації. В таких умовах використання класичних чисельних методів пошуку екстремуму багатоекстремальних функцій зі складним поверхневим рельєфом рівня стає малоефективним. Сучасний світ пропонує різноманітні перспективні методи оптимізації, в яких вирішується питання практичного застосування у забезпеченні збіжності до точного визначення показника, що полягає у пошуку найкращого (оптимального) значення цільової функції серед множини допустимих значень.

Досліджуючи методи глобальної оптимізації візьмемо до застосування метаевристичні методи, які дозволяють знайти рішення високої якості за відносно прийнятний час, а також використовуються при мінімальній кількості вихідної інформації про властивості функції фізичного явища. Будемо координувати стратегію пошуку навколо околиці локальних екстремумів і виконувати досить повне дослідження безлічі допустимих рішень, розглядаючи розрахункові витрати як істотний фактор доцільності.

Сьогодні структура систем, функціональна цілісність і стійкість єдності із зовнішнім середовищем складають основу гармонійного менеджменту, тобто впорядкованості, узгодженості всіх складових частин виробничої системи як всередині між собою, так і із зовнішніми функціями. Виявляється, що якщо скласти і погоджувати ці складові в єдину гармонійну структуру, то різко зростає «імунітет» системи по відношенню до зовнішніх і внутрішніх руйнівних (що дестабілізують) чинників. Вірогідність негативних наслідків різко падає (Иванус, 2005; Павлов І. Д., Полтавець, & Павлов Ф. І, 2020). Крім того, за рахунок гармонійності в системі виникає ефект створення нової властивості, якої раніше не було, яка забезпечує безперечну перевагу у конкурсованому бізнес-просторі, збільшує ефективність об'єднання у досягненні мети та отримання прибутку.

Технологія гармонійного менеджменту призначена для запобігання кризам в діяльності за рахунок вибору стратегії розвитку виробничих систем і затребувана бізнес-структурами. Впровадження технології гармонійного менеджменту сприяє стійкій роботі всіх будівельних процесів. Необхідною умовою наявності або початку процесу стійкого еволюційного розвитку систем є існування пропорції золотого перетину в її структурі $[0,62:0,38]$. Це забезпечує стійку рівновагу розвитку та зменшення витрат на підтримку стійкого стану виробничої системи (Гилл, Мюррей, & Райт, 1985; Arutiunian, Poltavets, Bondar, Anin, & Pavlov, 2020; Arutiunian I., Dankevych, Arutiunian Ye., Saikov, Poltavets, Maranov, & Frolov, 2020).

Явище золотого перетину вдало синтезує динаміку і статику, змінне та незмінне бо містить у своїй основі принцип структурної динамічної симетрії та феномен самоподібності – ціле відноситься до більшої частини як більша до меншої. Функціонування виробничих процесів за законами золотого перетину надає їм властивість структурної самоподібності, тобто енергоінформаційної обумовленості розвитку.

Організація, планування і управління будівництвом має свої особливості, зумовлені специфікою будівельного виробництва. У числі цих особливостей слід відзначити своєрідну ритмічність виробництва, його дискретний характер, мобільність, множинність учасників будівельного процесу, тривалий в порівнянні з

промисловістю цикл виробництва, стаціонарний характер використання будівельної продукції, схильність до впливу випадкових факторів, включаючи погодні, географічні умови та інше (Wang, et al., 2011).

Вирішення управлінських завдань в будівельному виробництві виконується формуванням процесу оптимізації. Одним із найбільш ефективних методів, в яких при обмеженій кількості обчислень цільової функції $f(x)$ досягається найвища точність є метод золотого перетину (Гилл., Мюррей, & Райт, 1985; Пантелеев, Скавинская, & Алешина, 2016).

Дослідимо особливості реалізації цього методу у пристосуванні до випадкових значень техніко-економічних показників будівельного виробництва, наприклад тривалості виконання будівельного проекту. Виконаємо симетричне розташування двох подібних точок на часовому інтервалі одиничної довжини. Подібні точки розташовані від граничних точок інтервалу на відстані τ . При такому симетричному положенні точок довжина залишкового після виключення інтервалу завжди дорівнює τ незалежно від того, які із значень цільової функції в подібних точках залишились меншими. Припустимо, що виключається правий підінтервал одиничного відрізка, тоді підінтервал, який залишився містить одну пробну точку, яка розташована на відстані $(1-\tau)$ від лівої граничної точки межі відрізка.

Для забезпечення збереження симетрії пошукового оптимального рішення потрібно щоб відстань $(1-\tau)$ складала τ -у від довжини загального інтервалу. За таких умов вибору значення τ наступна пробна точка розміщується на відстані, рівній τ -ї частини довжини інтервалу від правої граничної точки межі відрізка.

При виборі τ у відповідності з умовою $1-\tau=\tau^2$ пошукового рішення зберігаються при переході до зменшеного інтервалу (рис. 1). Далі, вирішуємо квадратне рівняння:

$$\tau = \frac{-1 \pm \sqrt{5}}{2}. \quad (1)$$

Позитивне значення рівняння отримано $\tau = 0,61803 \approx 0,62$.

Розглянемо подальшу схему пошуку оптимального рішення, яка заснована на діленні відрізка множини можливих варіантів пробними

точками на інтервали у золотому відношенні.

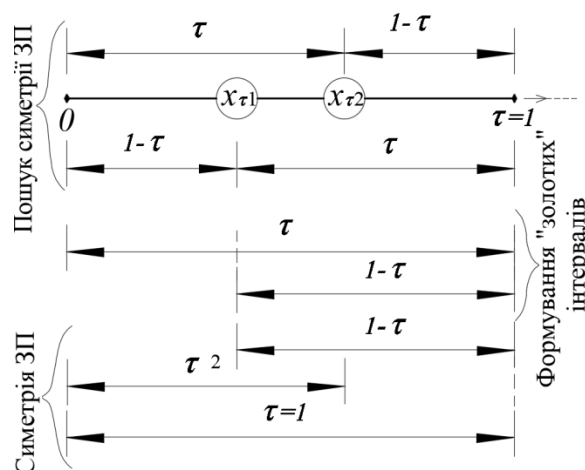


Рис. 1. Схема роботи методу золотого перетину в оптимізаційних задачах будівельного виробництва

Взаємне розташування точок оптимального рішення розглянемо у двох випадках:

- 1) $f(x_{\tau 1}) < f(x_{\tau 2})$;
- 2) $f(x_{\tau 1}) \geq f(x_{\tau 2})$.

Розглядаючи рівні симетрії інтервалів відрізків у пропорціях золотого перетину ми виявили реалізацію схеми роботи методу золотого перетину, яка доводить, що довжина інтервалу невизначеності l_{opt} на кожному етапі (рівні симетрії золотого перетину S) стискається з коефіцієнтом $0,62$. На першому етапі потрібно виконати два обчислення оптимальної функції, а на кожному наступному достатньо обчислювати одне значення (рис. 2). Довжина оптимізаційного інтервалу невизначеності після S обчислень значень цільової функції $f(x)$ складе:

$$l_{opt} = 0,62^{S-1} \cdot (b - a). \quad (2)$$

Принцип золотого перетину можливо і доцільно використовувати в якості фактору управління організаційно-економічним потенціалом підприємства. Призначення складних досліджень і перетворень приведення їх до несподівано або очікувано простого висновку, відкрити природні закони співвідношення цілого і його частин, різноманіття рекурентних послідовностей, сутнісно-тотожних відносин, моделі інверсії, що дозволяє зробити гармоніка, або теорія гармонії, за якою майбутнє (Павлов І. Д., Полтавець, & Павлов Ф. І, 2020).

Гармонійна виробнича система являє собою комплекс взаємозв'язаних за правилом золотого пропорції складових частин (підсистем). В основу управління та організації такої системи повинні бути закладені концепції гармонійного управління (Arutiunian, Poltavets, Achacha, Bondar, Pavlov, Gerasymenko, & Kulinich, 2021).

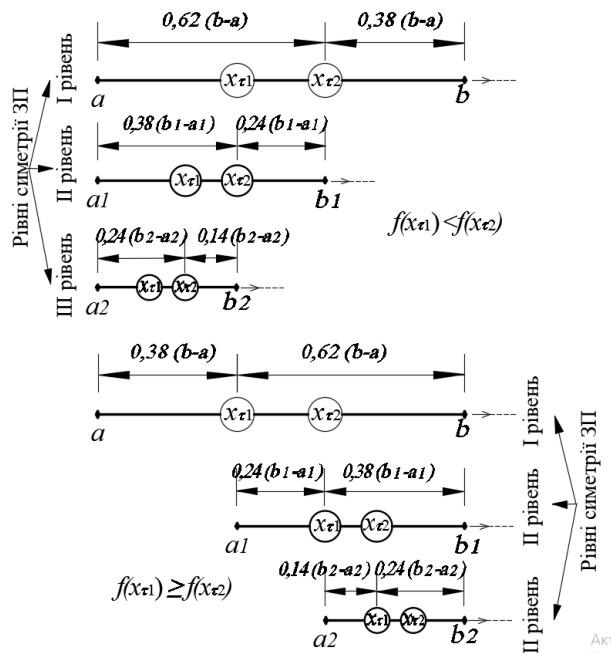


Рис. 2. Детальна візуалізація схеми роботи методу золотого перетину за рівнями симетрії

Міра впорядкованості оптимізаційного потоку, який упорядкувався так, що його можна вже розглядати у вигляді сформованої стійкої мембрани, повинна перевищувати рівень 0,62 (а при цьому величина ентропії $H < 0,38$). У процесі оптимізації цей потік D розпадається на безліч складових, розташованих на самому нижньому рівні. Його розподіл запропоновано оцінити за формулою визначення рівня ентропії виробничої системи:

$$H = \sum_{i=1}^r p_i \log_m p_i, \quad (3)$$

де $p_i = \frac{d_i}{D}$ – питома вага складових d_i в первісному потоці D ; $r = q + \dots + m$ – підсумкова кількість оптимізаційних потоків перетину, тобто до значення 0,38 як до стійкого стану.

Якщо $H \approx 0,38$ то усі оптимізаційні потоки гармонійні, отже техніко-економічні показники будівельного виробництва гармонійні.

Запропонуємо базовий алгоритм оптимізації функціонування будівельної виробничої системи за концепцією методу золотого перетину. Він полягає у визначенні гармонійної послідовності дій у напрямку гармонійного функціонування виробничої системи за допомогою параметрів гармонійності: гармонії девелопменту; гармонії якості виробництва; гармонії системи ціноутворення в будівництві; гармонії інтересів та мотивацій трудових ресурсів будівельного виробництва; гармонії суспільних взаємовідносин будівельної організації та споживача; гармонії логістичних ланцюгів; гармонії стабільності будівельного комплексу.



Рис. 3. Базовий алгоритм оптимізації функціонування будівельної виробничої системи за концепцією методу золотого перетину

Наукова новизна та практична значимість

Наведене дослідження показало, що будівельні виробничі системи проходять в процесі свого розвитку оптимізаційну платформу і набувають нової прогресивної якості. При реалізації своїх функцій флуктуації системи визначають рівень її організації, яка відповідає гармонійному (стійкому) розвитку.

Використання «золотої пропорції» в управлінні будівельним виробництвом у поєднанні з інформаційними технологіями сприяє еволюції і розвитку структурного різноманіття виробничих систем у мінливому середовищі.

Висновки

Обґрунтовані шляхи застосування принципів гармонійного менеджменту в оптимізації будівельних виробничих систем у напрямі до стійкого та логічного розвитку. Розкриті складові гармонійного виробництва у покращенні взаємодії різних підрозділів і прискоренні реакції на швидкі зміни, що пришвидшить рівень успішної роботи будь-якої організації. Результатом чого є створення всіх умов для гармонійної взаємодії виконавців та техніки на всіх рівнях управління будівництвом, що підтверджує необхідність розвитку сучасних підходів виробництва за принципом гармонійності.

Запропонована концепція гармонійної оптимізації виробничих систем будівництва за метаевристичною методикою золотого перетину. Розроблена схема роботи методу золотого перетину в оптимізаційних задачах будівельного виробництва та виконана детальна візуалізація цього методу за рівнями симетрії. Результати дослідження надали значення пошукового оптимізаційного рішення $\tau \approx 0,62$.

За мірою упорядкованості оптимізаційного потоку розроблений базовий алгоритм оптимізації функціонування будівельної виробничої системи за концепцією методу золотого перетину, який розкриває гармонізаційний підхід у вдосконаленні взаємодії структурних елементів виробництва та прискоренні їх функціональної чутливості до змін оточення та доводить, що гармонійна виробнича система ефективніше здійснює адаптацію до різноспрямованостей інтересів, цілей та дій на всіх рівнях управління різними підсистемами в будь-яких умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Alimoradi, H., & Shams, M. (2017). Optimization of subcooled flow boiling in a vertical pipe by using artificial neural network and multi objective genetic algorithm. *Applied Thermal Engineering*, 111, 1039-1051.

Arutiunian, I., Dankevych, N., Arutiunian, Ye., Saikov, D., Poltavets, M., Maranov, A. & Frolov, D. (2020). Development of a mathematical model for selection and rationale for making optimal construction deci-

sions. *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, 9(12), 10649-10659.

Arutiunian, I., Poltavets, M., Achacha, M., Bondar, O., Pavlov, F., Gerasymenko, O., & Kulinich, T. (2021). Effective Concepts of Harmonious Management of Production Systems. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 21 (3), 141-144.

Arutiunian, I., Poltavets, M., Bondar, O., Anin, V. & Pavlov, F. (2020). Structural Information Management of Production Systems in Construction. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(4), 4794-4797.

Storn, R., & Price, K. (1997). Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 11(4), 341-359.

Wang, L., et al. (2011). A hybrid harmony search algorithm for the blocking permutation flow shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 61, 76-83.

Гилл, Ф., Мюррей, У. & Райт, М. (1985). *Практическая оптимизация*. Москва: Мир.

Данкевич, Н. О. (2019). Підвищення ефективності організаційних рішень у складі проекту організації будівництва. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 16, 38-43.

Данкевич, Н. О. (2020). Формування системи вибору оптимального варіанту організаційно-технологічних рішень в умовах невизначеності та динамічності з дотриманням принципів саморегуляції. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 18, 50-57.

Иванус, А. И. (2005). *Код да Винчи в бизнесе или гармоничный менеджмент по Фибоначчи*. Москва: ЛЕНАНД.

Павлов, І. Д., Полтавець, М. О., & Павлов, Ф. І. (2020). Системне управління організаційно-технологічною надійністю виробничих процесів в будівництві. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 17, 53-61.

Пантелеев, А. В., Скавинская, Д. В., & Алешина, Е. А. (2016). *Метаэвристические алгоритмы поиска оптимального программного управления*. Москва: ИНФРА-М.

Радкевич, А. В., Бичевий, П. П., & Мішук, К. М. (2020). Визначення конкурентоздатного напрямку відновлення експлуатаційної придатності м'яких покрівель. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 17, 73-80.

М. О. POLTAVETS^{1*}, І. А. ARUTIUNIAN², М. А. AZHAZHA³

^{1*} Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (050) 710 00 58, e-mail poltavmar@ukr.net, ORCID 0000-0003-0504-5278

² Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (066) 900 78 28, e-mail iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

³ Department of Organization Management and Project Management, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (066) 911 84 05, e-mail azazmarina17@gmail.com, ORCID 0000-0001-6067-3926

PROSPECTIVE TRENDS OF HARMONIOUS POSSIBILITIES IN OPTIMIZATION OF PRODUCTION SYSTEMS OF CONSTRUCTION

Purpose. Scientific formation of algorithmic support of construction organization and management processes with the use of metaheuristic methods in solving practical problems of optimal control of nonlinear dynamic production systems. **Methodology.** Use of metaheuristic methods of optimization, system analysis and system substantiation, use of methods of systems theory, use of methods of modeling theory for the purpose of perspective management of production systems of building branch on the basis of the general laws and principles of harmony. **Results.** The scientific formation of the concept of harmonious optimization of production systems of construction by the metaheuristic method of the golden section is performed. The scheme of work of the method of golden section in optimization problems of construction production is developed and the detailed visualization of this method on levels of symmetry is executed. The ways of application of the principles of harmonious management in the optimization of construction production systems in the direction of sustainable and logical development are substantiated. The components of harmonious production in improving the interaction of different departments and accelerating the response to rapid change, which will accelerate the level of success of any organization. **Originality.** The concept of harmonious optimization of production systems of construction by metaheuristic method of golden section is offered. The scheme of work of the method of golden ratio in optimization problems of construction production is developed and the detailed visualization of this method on levels of symmetry is executed. **Practical value.** The use of optimization measures to increase the efficiency of construction production is proposed to be implemented according to the developed basic algorithm for optimizing the functioning of the construction production system according to the concept of the golden ratio method. **Conclusions.** The substantiation of ways of application of principles of harmonious management in optimization of building production systems in the direction of steady and logical development is executed. The components of harmonious production in improving the interaction of different departments and accelerating the response to rapid change, which will accelerate the level of success of any organization. The result is the creation of all conditions for the harmonious interaction of performers and equipment at all levels of construction management, which confirms the need to develop modern approaches to production on the principles of harmony.

Keywords: construction; harmonization; production system; optimization; golden section; management; organization; algorithm; modeling

REFERENCES

- Alimoradi, H., & Shams, M. (2017). Optimization of subcooled flow boiling in a vertical pipe by using artificial neural network and multi objective genetic algorithm. *Applied Thermal Engineering*, 111, 1039-1051. (in English)
- Arutiunian, I., Dankevych, N., Arutiunian, Ye., Saikov, D., Poltavets, M., Maranov, A. & Frolov, D. (2020). Development of a mathematical model for selection and rationale for making optimal construction decisions. *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, 9(12), 10649-10659. (in English)
- Arutiunian, I., Poltavets, M., Achacha, M., Bondar, O., Pavlov, F., Gerasymenko, O., & Kulinich, T. (2021). Effective Concepts of Harmonious Management of Production Systems. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 21 (3), 141-144. (in English)
- Arutiunian, I., Poltavets, M., Bondar, O., Anin, V. & Pavlov, F. (2020). Structural Information Management of Production Systems in Construction. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(4), 4794-4797. (in English)
- Storn, R., & Price, K. (1997). Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 11(4), 341-359. (in English)
- Wang, L., et al. (2011). A hybrid harmony search algorithm for the blocking permutation flow shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 61, 76-83. (in English)

- Gill, F., Myurrey, U. & Rayt, M. (1985). *Prakticheskaya optimizatsiya*. Moskva: Mir. (in Russian)
- Dankevych, N. O. (2019). Pidvyshchennia efektyvnosti orhanizatsiinykh rishen u skladi proektu orhanizatsii budivnytstva. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 16, 38-43. (in Ukrainian)
- Dankevych, N. O. (2020). Formuvannia systemy vyboru optymalnoho variantu orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen v umovakh nevyznachenosti ta dynamichnosti z dotrymannyam pryntsyypiv samorehuliatsii. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 18, 50-57. (in Ukrainian)
- Ivanus, A. I. (2005). *Kod da Vinchi v biznese ili garmonichnyy menedzhment po Fibonachchi*. Moskva: LYeNAND. (in Russian)
- Pavlov, I. D., Poltavets, M. O., & Pavlov, F. I. (2020). Systemne upravlinnia orhanizatsiino-tekhnologichnoi nauki i inzhyniringu vyrobnychykh protsesiv v budivnytstvi. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 17, 53-61. (in Ukrainian)
- Panteleev, A. V., Skavinskaya, D. V., & Aleshina, Ye. A. (2016). *Metaevristicheskie algoritmy poiska optimalnogo programnogo upravleniya*. Moskva: INFRA-M. (in Russian)
- Radkevych, A. V., Bychevyi, P. P., & Mishuk, K. M. (2020). Vyznachennia konkurentozdatnoho napriamku vidnovlennia ekspluatatsiinoi prydatnosti miakyykh pokryvel. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 17, 73-80. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 05.09.2021.

Прийнята до друку 07.10.2021.