

ЕКОНОМІКА ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА, ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ТА ОЦІНКА МАЙНА

УДК 625.7/.8:338

Заворотний С.М., Харченко А.М., канд. техн. наук

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ВІДНОШЕННЯ «ЧАС – ВАРТІСТЬ» ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ ЗАСНОВАНИХ НА КІНЦЕВИХ ПОКАЗНИКАХ

Анотація. У даній статті:

- 1) розглянута класифікація методів оптимізації відношення «час-вартість»;
- 2) вказані основні переваги та недоліки методів оптимізації;
- 3) виконано аналіз методів оптимізації відношення «час-вартість».

Об'єкт дослідження – методи оптимізації відношення «час – вартість».

Мета роботи – виконання аналізу існуючих методів оптимізації відношення «час – вартість» з метою успішної реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках в експлуатаційному утриманні автомобільних доріг України.

Методи дослідження – аналітичний, історичний, термінологічний, функціональний системний.

В даній статті розглянуто класифікацію методів оптимізації відношення «час-вартість». Відповідно до класифікації методи поділяються на: математичні (лінійне програмування, динамічне програмування та ін.), евристичні (метод Фондаля, структурна модель та ін.) та змішані (матеевристичні) (генетичний алгоритм, оптимізація «мурашиної колонії», «пошук гармонії» та ін.). Кожен з методів має ряд переваг та недоліків. Так математичні методи дають точні значення, але потребують великої кількості розрахунків. Евристичні – прості в використанні, але не забезпечують глобальної оптимізації. На відміну від цих

двох методів змішаний має меншу кількість недоліків, це забезпечується гармонійним поєднанням в ньому математичних та евристичних методів. Таким чином виникає ряд математичних методів оптимізації. Внаслідок проведеного аналізу літературних джерел та методів оптимізації даного відношення було визначено, що найбільш оптимальним та прогресивним методом є змішаний, а саме генетичні алгоритми. Це підтверджується значною кількістю наукових досліджень, в яких генетичний алгоритм розглядається, як основа оптимізаційного процесу.

Ключові слова: довгострокові контракти засновані на кінцевих показниках, експлуатаційне утримання автомобільних доріг, оптимізація, лінійне програмування, генетичний алгоритм.

УДК 625.7/.8:338

Заворотний С.М., Харченко А.Н., канд. техн. наук

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ОТНОШЕНИЯ «ВРЕМЯ - СТОИМОСТЬ» ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДОЛГОСРОЧНЫХ КОНТРАКТОВ ОСНОВАННЫХ НА КОНЕЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ

Аннотация. В данной статье:

- 1) рассмотрена классификация методов оптимизации отношение «время-стоимость»;
- 2) указаны основные преимущества и недостатки методов оптимизации;
- 3) выполнен анализ методов оптимизации отношение «время-стоимость».

Объект исследования - методы оптимизации отношение «время - стоимость».

Цель работы – выполнение анализа существующих методов оптимизации отношения «время – стоимость» с целью успешной реализации долгосрочных контрактов, основанных на конечных показателях в эксплуатационном содержании автомобильных дорог Украины.

Методы исследования – аналитический, исторический, терминологический, функциональный, системный.

В данной статье рассмотрена классификация методов оптимизации отношение «время-стоимость». Согласно классификации методы делятся на: математические (линейное программирование, динамическое

программирование и др.), эвристические (метод Фондаля, структурная модель и др.) и смешанные (матэвристические) (генетический алгоритм, оптимизация «муравьиной колонии», «поиск гармонии» и др.). Каждый из методов имеет ряд преимуществ и недостатков. Так математические методы дают точные значения, но требуют большого количества расчетов. Эвристические - простые в использовании, но не обеспечивают глобальной оптимизации. В отличие от этих двух методов смешанный имеет меньшее количество недостатков, это обеспечивается гармоничным сочетанием в нем математических и эвристических методов. Таким образом возникает ряд матэвристических методов оптимизации. Вследствие проведенного анализа литературных источников и методов оптимизации данного отношение было определено, что наиболее оптимальным и прогрессивным методом является смешанный, а именно генетические алгоритмы. Это подтверждается значительным количеством научных исследований, в которых генетический алгоритм рассматривается как основа оптимизационного процесса.

Ключевые слова: долгосрочные контракты основанные на конечных показателях, эксплуатационное содержание автомобильных дорог, оптимизация, линейное программирование, генетический алгоритм.

UDC 625.7/.8:338

Zavorotnyi S.M., Kharchenko A.N, Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

ANALYSIS OF METHODS OF OPTIMIZATION OF RATIO «TIME – VALUE» TO IMPLEMENT PERFORMANCE BASED ROAD MAINTENANCE CONTRACTS

Abstract. In the given article:

- 1) considered classification of methods of optimization of the ratio of time-cost;
- 2) listed the main advantages and disadvantages of methods of optimization;
- 3) made the analysis of methods of optimization of the ratio of time-cost.

Object of study – methods to optimize the relationship of time – cost.

Objective - performing analysis of existing methods of optimization of relations time – cost with the purpose of successful implementation performance based road maintenance contracts in the operational maintenance of highways of Ukraine.

Research methods – analytical, historical, terminological, functional, systematic.

This article describes the classification of optimization techniques time-cost. According to the classification methods are divided into: mathematical (linear programming, dynamic programming, etc.), heuristic (method Fondale, structural model, etc.) and mixed (meta-heuristic) (genetic algorithm, optimization is ant colony", search for harmony, etc.). Each of the methods has a number of advantages and disadvantages. Mathematical methods give the exact value but require a large number of calculations. Heuristic – easy to use but do not provide global optimization. In contrast to these two methods mixed method has fewer disadvantages this is ensured by a harmonious combination of mathematical and heuristic method. Thus there is a number of meta-heuristic optimization methods. As a result of analysis of literary sources and methods to optimize this relationship has been defined the most optimal and progressive method is mixed, namely genetic algorithms. This is confirmed by the significant number of scientific studies in which the genetic algorithm is considered as the basis of the optimization process.

Keywords: based road maintenance contracts, operational maintenance of roads, optimization, linear programming, genetic algorithm.

Постановка проблеми

Проект вважається успішно реалізованим лише тоді коли він виконаний на 100% без грошових перевитрат і закінчений в найбільш оптимальний термін. Отже питання оптимізації відношення час-вартість є визначальним для успішності проекту. Особливо велике значення дане питання займає для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках (ДККП), які використовуються для експлуатаційного утримання автомобільних доріг (ЕУАД). Адже ДККП укладається на довгий термін, а ЕУАД є процесом, який виконується постійно, на відміну від будівництва. Для успішної реалізації ДККП в дорожній галузі України, необхідно виконати аналіз методів оптимізації, які використовуються в управлінні проектами з метою подальшого визначення найбільш прогресивного та ефективного.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Підчас аналізу досліджень та публікацій були визначені основні методи оптимізації відношення «час-вартість». В роботах [5-16] розглядаються математичні методи, які забезпечують точність результату, але потребують великої кількості розрахунків. В роботах [17-22] автори використали евристичні

методи, які були простішими ніж математичні, але не забезпечували глобальну оптимізацію. В роботах [4, 23-37] наведені змішані (метаевристичні) методи, які поєднують в собі як математичніб так і евристичні.

Постановка завдання

Завданням даного дослідження є аналіз основних методів оптимізації відношення «час-вартість» для ефективної реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках в дорожній галузі України.

Виклад основного матеріалу

Оптимізація відношення «час-вартість» є дуже складним процесом особливо в умовах невизначеності. В наслідок того, що ДККП укладається не менш ніж на 2 роки, а для якісного ЕУАД їх фінансування повинно виконуватись постійно і без затримок, вибір необхідного методу оптимізації є дуже складним процесом. Отже обрати метод оптимізації відношення «час-вартість» дуже складно внаслідок присутності багатьох факторів та цілей контракту, які обумовлені особливостями ЕУАД. З кожним роком методи змінювалися та вдосконалювалися формуючи все більше і більше моделей, алгоритмів та різноманітних підходів і способів.

Для виконання вимог щодо часу та вартості проектів, а отже і контрактів, використовують різні методи оптимізації відношення «час-вартість». Дані методи поділяються на [1]: математичні, евристичні та змішані (метаевристичні). Класифікація методів оптимізації відношення «час-вартість» зображено на рисунку 1.

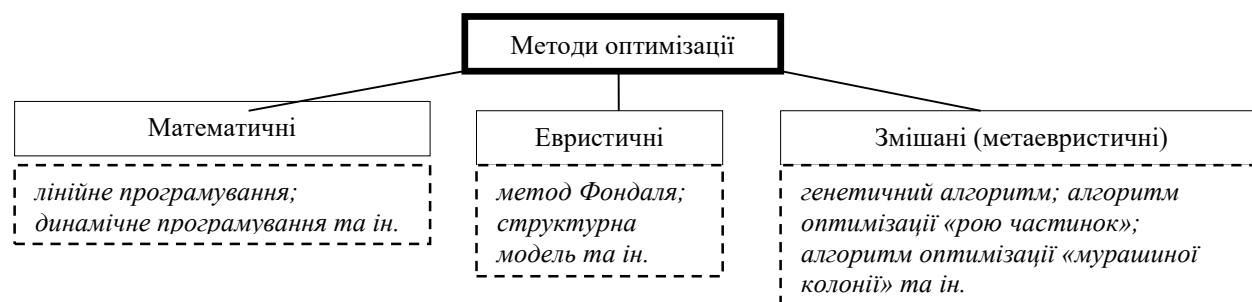


Рисунок 1 – Класифікація методів оптимізації відношення «час - вартість»

Математичні методи базуються на визначенні основних показників (активів), які впливають на залежність між часом та вартістю контрактів з метою формування задачі у вигляді математичної моделі з використанням лінійного, нелінійного, цілочисленного та динамічного програмування для їх вирішення

[1,2]. Перевагою даного методу є його точність та обґрунтованість, але значна кількість активів в проекті вимагає виконання великої кількості математичних розрахунків, що ускладнює процес оптимізації [2].

Евристичні методи використовують послідовні алгоритми розроблені для визначення і прийняття найбільш оптимального рішення, які базуються на основних принципах і вимогах задачі [2]. Дані алгоритми є дуже простими та зрозумілими, що дозволяє прийняти вигідне рішення, але брак математичної обґрунтованості та незабезпечення глобальної оптимізації є великим їх недоліком [2].

Змішані або метаевристичні методи на відміну від попередніх є більш гнучким та сучасним завдяки одночасному поєднанню математичного та евристичного. Методи використовуються на різних рівнях процесу оптимізації тим самим забезпечують якість отриманих результатів. Тобто створюються так звані еволюційні алгоритми. Найбільш поширеними є генетичні алгоритми, оптимізація «мурашиної колонії» та інші [1, 2].

Як бачимо існує безліч методів оптимізації відношення «час-вартість», які можуть забезпечити отримання бажаного результату. Але вони мають ряд своїх особливостей, переваг та недоліків, які необхідно враховувати при визначенні найбільш підходящого для вирішення конкретної задачі. А отже потрібно виконати аналіз найбільш прогресивних методів. Аналіз методів оптимізації часу та вартості проектів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Аналіз методів оптимізації часу та вартості проектів [3, 4-37]

Методи	Моделі, підходи та алгоритми	Автори та рік	Особливість
1	2	3	4
Математичні	Лінійне програмування (ЛП)	Келлі та ін. [5] 1961 р.	В роботі запропонована математична модель, як основа для методу критичного шляху (МКШ), який використовується в плануванні та координації інженерних проектів. Вагомою складовою даного методу є параметрична лінійна програма, яка враховувала інформацію про час та затрати, які необхідні на різних етапах проекту.
		Хендриксон [6] 1989 р.	Інформація відсутня
		Паггоні [7] 1990 р.	Інформація відсутня
	Динамічне програмування (ДП)	Бутхер [8] 1967 р.	Інформація відсутня
		Робінсон [9] 1993 р.	Інформація відсутня

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Математичні	Динамічне програмування (ДП)	Мосельхі та Елрей [10] 1993 р.	Була запропонована модель ДП з введеними змінними грошових витрат в процес оптимізації. Дана модель складалася з двох етапів. В першому виконується аналіз відношення «час-вартість» для визначення локального мінімуму, а на другому виконується визначення процесу, який забезпечує досягнення необхідного результату.
		Ельмаграбі [11] 1993 р.	В даній роботі автор використав ДП для вирішення питання розподілу ресурсів у проєкті для зменшення часових термінів його виконання.
		Де, Данн і Уеллс [12] 1995 р.	Інформація відсутня
	Гібридні ЛП/ДП/ЦП	Лю, Бернс і Фен [13] 1995 р.	Автори використали математичну модель ЛП для визначення найбільш оптимальних часових термінів для проєктів в будівництві. Даний метод має суттєвий недолік – для створення математичної моделі необхідно визначити основну цільову функцію та обмеження, що потребує багато часу.
		Лю, Бернс і Фен [14] 1996 р.	Оптимізацію відношення «час-вартість» автори виконали за допомогою гібридної математичної моделі ЛП/ЦП. Для вирішення проблеми модель має два етапи: в першому визначається мінімум, а на другому використовувалось ЦП для визначення кінцевого точного результату.
	Цілочислене програмування (ЦП)	Мейер і Шаффер [15] 1963 р.	Проблему оптимізації відношення «час-вартість» автори вирішили за допомогою ЦП, враховуючи, як лінійну так і дискретну залежність між часом та вартістю. Недолік - ЦП потребує великої кількості розрахунків.
Паттерсон і Губер [16] 1974 р.			
Евристичні	Метод Фондаля	Фондаль [17] 1961 р.	Фондаль розробив альтернативний МКШ. Він використав кругову та контактну лінійну діаграми для оптимізації відношення. Перевага - легкість використання методу. Недолік – неможливість виконання глобального оптимального вирішення.
	Структурна модель	Прагер [18] 1963 р.	Прагер використав модель ЛП Келлі та формування мережевого потоку Фальксона, створивши модель для оптимізації. Недолік – можливість використання тільки при лінійній залежності між часом та вартістю.
	Ефективна модель ціноутворення	Сіменс [19] 1971 р.	За допомогою даного алгоритму можна скоротити часові витрати проєкту, якщо він виходить з заздалегідь визначених меж. Переваги – легкість в використанні та відсутність потреби використання комп'ютера в порівнянні з ЛП та подібними методами. Недолік – незабезпечення глобальної оптимізації.
	Модель структурної жорсткості	Мосельхі [20] 1993 р.	Автор запропонував модель оптимізації часу на основі мінімальної вартості. Дана модель базується на методі прямої жорсткості.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Евристичні	Модель з врахуванням багато-профільних ресурсів	Хегазі та ін. [21] 2000 р.	Автори вдосконалили евристичний метод, шляхом врахування багатопрофільних ресурсів. Перевага – врахування інформації про ресурси. За допомогою такої бази даних менш важливі ресурси можна використовувати в період дефіциту основних, тим самим зменшивши витрати часу
		Ченг та ін. [22] 2006 р.	У цьому методі всі операції в проєкті згруповані у всі можливі комбінації і заплановані у відповідні групи. Евристичний алгоритм класифікує всі можливі комбінації та аналізує їх з подальшим вибором найбільш підходящої, яка потребує менших витрат часу. Недолік – не враховує ефект впливу часу проєкту на прямі витрати, а отже і на загальні.
Змішані (метаевристичні)	Генетичний алгоритм (ГА)	Лі і Лові [23] 1997 р.	Лі та Лові запропонували модель, яка дозволяє зменшити обсяг розрахунків для оптимізації. Це реалізувалося за допомогою вдосконаленої моделі ГА для оптимізації часу, вартості та ресурсів. Переваги – зменшення кількості розрахунків.
		Хегазі [24] 1999 р.	За допомогою ГА було виконано пошуку шляху оптимізації, який дозволив зменшити загальну вартість проєкту, яка була прийнята в якості об'єктивної функції з врахуванням специфіки необхідної вартості та терміну реалізації проєкту. Для вирішення ГА автори використали програмне забезпечення MS Project 4.1. Переваги – врахування строків реалізації проєкту, щоденних стимулів, щоденних потреби на ліквідацію втрат та щоденних непрямих витрат. Недолік – вимагає великої кількості розрахунків для великих сітьових проблем.
		Лей і Янг [25] 1999 р.	Автори розробили багатокритеріальну оптимізаційну модель ГА для будівельних проєктів. Недолік – необхідна велика кількість розрахунків.
		Лі та інші [26] 1999 р.	В роботі розглянута нелінійна залежність між часом та вартістю. Для цього автори створили квадратичну криву часових витрат для формування об'єктивної функції, яка в свою чергу розраховується за допомогою ГА. Недолік – квадратична залежність часу та вартості не може бути використана для великих проєктів.
		Сенучі та Елдіні [27] 2004 р.	Автори розробили розширену лагранжеву модель ГА для планування ресурсів. Вони врахували відношення пріоритетних задач, мінімізацію вартості проєкту та вплив на часові терміни його виконання. Також розглянули нелінійну та лінійну залежність для створення цільової функції.
		Чень і Венг [28] 2009 р.	Для вирішення питання планування ресурсів для реалізації будівельних проєктів автори розробили двофазну модель ГА. На першому етапі якої за допомогою ГА створюється розклад для кожного виду діяльності, з врахуванням відношення «час-вартість». На другому – планування ресурсів з врахуванням часових та грошових вимог визначених на першому етапі.

Кінець таблиці 1

1	2	3	4
Змішані (матеевристичні)	Генетичний алгоритм (ГА)	Шарзавари та ін. [29] 2012 р.	Шарзавари та співавтори запропонували вирішити проблему оптимізації за допомогою ГА та нечіткого (fuzzy) підходу. В даному методі автори використали підхід Тагучі для задання параметрів моделі. А також розглянули умови невизначеності для будівельних проектів.
	Еволюційний генетичний алгоритм (ЕГА)	Фен, Лю і Бернс [30] 1997 р.	Автори вирішили питання оптимізації даного відношення за допомогою ГА з використанням принципу Парето. Недолік – модель не може враховувати ресурсні обмеження та використовується на фінішні стадії.
		Ген і Ченг [31] 2000 р.	Інформація відсутня
		Чжен, Нг і Кумарасвами [32] 2004 р.	Інформація відсутня
	Алгоритм оптимізації «рою частинок» (АОРЧ)	Ян [33] 2007 р.	Ян використав ГА з принципом Парето. Модель була розроблена для вирішення таких цілей: отримання всього фронту Парето за один підхід; розглянути всі функції залежності «час-вартість» (лінійну, нелінійну, дискретну, переривчасту та гібридну). Даний метод модифікує пошукову процедуру у вигляді популяції «рою частинок».
	Алгоритм оптимізації «мурашиної колонії» (АОМК)	Сіонг і Куан [34] 2008 р.	Інформація відсутня
		Нг і Чжан [35] 2008 р.	Інформація відсутня
	Алгоритм «пошуку гармонії» (АПГ)	Джейм [36] 2010 р	Інформація відсутня
	Багато-цільовий оптимізаційний підхід	Шривастава та ін. [37] 2012 р.	В роботі автор використовує багатоцільовий оптимізаційний підхід для оптимізації відношення «час-вартість-якість» на основі підходу АОМК. Цільова функція була отримана шляхом кількісної оцінки часу реалізації, вартості та якості проекту.
		Султана та Сураджит [4] 2012 р.	Автор використовує багатоцільовий підхід на основі ГА. В дослідженні використовується дискретна залежність між часом проекту та ресурсами.

Аналіз методів оптимізації відношення «час-вартість» вказує на складність даного процесу, який зумовлений різноманітністю інженерних контрактів та проектів, які мають свої особливості і потреби. На шляху знаходження найбільш ефективного методу, автори використовували різноманітні моделі з постійним переходом від більш простих до більш складних з подальшим їх вдосконаленням. Головним завданням процесу вдосконалення та вибору методів оптимізації є зменшення обсягу розрахунків та отримання більш точних та глобальних результатів. Так останнім часом змішані методи такі, як ГА займають провідне положення в цій сфері, всі наступні методи

використовують ГА, як основу (наприклад такі алгоритм оптимізації «мурашиної колонії»). Але деякі з них мають певні недоліки, наприклад Лі та співавтори [25] спробували вирішити проблему оптимізації шляхом розгляду не лінійної залежності між часом і вартістю [3]. Для цього вони створили квадратичну криву часових витрат для формування об'єктивної функції, яка в свою чергу розраховується за допомогою ГА, але квадратичне відношення «час-вартість» є неефективним для розрахунку в великих довготривалих контрактах.

Беручи до уваги недоліки деяких ГА фахівці намагаються вдосконалити цей метод для виконання глобальної оптимізації показників. Велика кількість моделей побудованих на основі ГА чи з його врахуванням, вказують на велику популярність даного методу, що свідчить про його ефективність. Отже ГА може бути найбільш оптимальним методом, який забезпечить об'єктивну оптимізацію відношення «час-вартість» для реалізації ДККП в дорожній галузі України.

Література

1. Jorge M-M. Multiobjective Genetic Algorithm-Based for Time-Cost Optimization. New Developments in Pure and Applied Mathematics. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/MAPUR/MAPUR-12.pdf>.
2. Навчальні матеріали онлайн. Маркетингова цінова політика. [Електронний ресурс]. -Режим доступу: http://pidruchniki.com/18260617/marketing/vitrati_vklyuchennyam_sobivartist.
3. Trivedi M.K., Sapan N. Use of optimization techniques in time-cost trade off (TCT) in civil construction: An Overview. Civil engineering department, Madhav Institute of Technology and Science Gwalior, 474001) (M.P.) INDIA. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.irphouse.com/ijcem/ijcemv2n1_01.pdf.
4. Sultana P., Surajit K. S. GA Based Multi-Objective Time-Cost Optimization in a Project with Resources Consideration. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) Vol.2, Issue.6, Nov-Dec. 2012. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.ijmer.com/papers/Vol2_Issue6/CQ2643524359.pdf.
5. Kelly E., James Jr. Critical path planning and scheduling: mathematical basis, Oper. Res., Vol. 9 no. 3, 1961, - pp. 167-179.
6. Hendrickson C., Au T. Project Management for Construction, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J, 1989.
7. Pagnoni A. Project Engineering: Computer Oriented Planning and Operational Decision Making, Springer, Berlin, 1990.
8. Butcher W.S. Dynamic programming for project cost-time curve, Journal of Construction Division, ASCE, Vol. 93 (C01), 1967, - pp. 59-73.
9. Robinson D. R. A dynamic programming solution to cost-time tradeoff for CPM, Mgmt. Sci., Vol. 22, No. 2, 1975, - pp. 158-166.
10. Moselhi El., Rayes K. Scheduling of repetitive project with cost optimization. ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 1993, 119 (4): 681-697.
11. Elmaghraby S. E. Resource allocation via dynamic programming in activity networks, Eur. J. Operational Res., Vol. 64, 1993, - pp. 199-215.
12. De P., Dunne E. J., Wells C. E. The discrete time-cost trade-off problem revisited, Eur. J. Operational Res., Vol. 81, 1995, - pp. 225-238.
13. Burns S.A., Liu L., Feng C.W. The LP/IP hybrid method for construction time-cost trade-off analysis, Constr. Manag. Econ., Vol. 14, No. 3, 1996, - pp. 265-276.
14. Burns S.A., Liu L., Feng C.W. The linear programming and integer programming hybrid method for construction time-cost trade-off analysis. Construction Management and Economics, 1996, 14(3): 265-276.
15. Mayer W. L., Shaffer L.R. Extension of the critical path method through the application of integer programming, Civ. Engrg. Constr. Res. Ser. 2, Univ. of Illinois, Urbana, III, 1963.
16. Patterson J. H., Huber D. A horizon-varying, zero-one approach to project scheduling, Mgmt. Sci., Vol. 20, No. 6, 1974, - pp. 990-998.
17. Fondahl J. W. A non-computer approach to the critical path method for the construction industry, Technical Report No. 9, The Construction Institute, Department of Civil Engineering, Stamford University, 1961.

18. Prager W. A structured method of computing project cost polygons, *Manage. Sci.*, Vol. 9, No. 3, 1963, - pp. 394-404.
19. Siemens N. A simple CPM time-cost trade-off algorithm, *Management and Science*, 1971, 17(6): 354-36322.
20. Moselhi O. Schedule compression using the direct stiffness method, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 20, No. 1, 1993, - pp. 65-72.
21. Hegazy T., Shabeeb A.K., Elbeitagi E. Cheema T. Algorithm for scheduling with multi-skilled construction resources. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 2000, 126(6): 414-421.
22. Zheng H., Li H., Tan C.M. Heuristic scheduling of resource constrained, multiple mode and repetitive project. *Construction Management and Economics*, 2006, 24(2):159-169.
23. Li H., Love P. Using improved genetic algorithms to facilitate time-cost optimization, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 123, No. 3, 1997, - pp. 233-237.
24. Hegazy T. Optimization of construction time-cost trade-off analysis using genetic algorithms, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 26, No. 6, 1999, - pp. 685-697.
25. Leu S., Yang S. Genetic algorithm based multi-criteria optimal model for construction scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1999, 125(6): 420-427.
26. Li H., Cao and Love Using machine learning and genetic algorithm to solve time-cost trade-off problem. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 1999, 125(5): 347-353.
27. Senouci N., Eldin N. Use of GA in resource scheduling of construction project, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 2004, 130(6): 869-877.
28. Chen P.H., Weng H. A two phase genetic algorithm model for resource constrained project scheduling. *Automation in Construction*, 2009, 18(4):485-498.
29. Shahsavari N., Ghamginzaden A., Pour M. A new approach to solve the time-cost trade-off problem based on genetic algorithm and fuzzy theory. *International journal of Engineering and Techniques*, 2012, 1(3): 238-249.
30. Feng C.W., Liu L., Burns S.A. Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems, *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 11, No. 3, 1997, - pp. 184- 189.
31. Gen M., Cheng R. *Genetic Algorithms & Engineering Optimization*, Wiley-Interscience, New York, 2000.
32. Zheng X.M., Ng S.T., Kumaraswamy Applying a genetic algorithm-based multiobjective approach for time-cost optimization, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 130, No. 2, 2004, - pp. 168-176.
33. Yang I.T. Using elitist particle swarm optimization to facilitate bicriterion time-cost trade-off analysis, *J. Constr. Eng. Manage.* Vol. 133, No. 7, 2007, - pp. 498-505.
34. Xiong Y., Kuang Y. Applying an ant colony optimization algorithm-based multiobjective approach for time-cost trade-off, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 134, No. 2, 2008, - pp. 153-156.
35. Ng S.T., Zhang Y. Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 134, No. 9, 2008, - pp. 721-728.
36. Geem Z. W. Multiobjective optimization of time-cost trade-off using harmony search, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 136, No. 6, 2010, - pp. 711- 716.
37. Shrivastava R., Singh S., Dubey G.C. Multi-objective optimization of time-cost-quality-quantity using multi colony Ant algorithm. *International Journal of Contemporary Mathematical Science*, 2012, 7(16): 773-784.

Рецензенти:

Мамонов К.А., д-р економ. наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

Батракова А.Г., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:

Mamonov K.A., Dr. Econ. Sci., O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.

Batrakova A.H., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **05.06.2017 р.**