

УДК 004.021

О. М. Козачко, Є. М. Крижановський, С. О. Жуков, І. В. Варчук

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАДАЧ ДЛЯ СПІВРОБІТНИКІВ СТАНЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА БАЗІ ГЕНЕТИЧНОГО ТА УГОРСЬКОГО АЛГОРИТМІВ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Анотація.** Удосконалено метод автоматизованого процесу призначення задач для співробітників станцій технічного обслуговування транспортних засобів на базі генетичного та угорського алгоритмів, який на відміну від існуючих, враховує одночасно, складність задачі, час виконання задач та кваліфікацію робітників, а також дозволяє пришвидшити та оптимізувати робочий процес на станціях технічного обслуговування транспортних засобів. Для оцінювання оптимальності варіантів розв'язку запропоновано новий критерій, який, окрім кваліфікації робітника, складності та часу виконання задачі, дозволяє врахувати потреби підприємства в різні сезони. Проведено комп'ютерну обробку експериментальних даних роботи запропонованих алгоритмів. В якості вихідних даних для проведення комп'ютерного експерименту були взяті дані по функціонуванню реальної станції технічного обслуговування в м. Вінниця з та без автоматизованого застосування удосконаленого методу призначення задач для співробітників станції технічного обслуговування транспортних засобів на базі генетичного та угорського алгоритмів. Проведені комп'ютерні експерименти показали, що за великої кількості задач краще працює генетичний алгоритм, а при невеликій кількості задач – угорський алгоритм. На основі запропонованих удосконалень та алгоритмів розроблено крос-платформну автоматизовану систему співробітників станції технічного обслуговування транспортних засобів, яка на відміну від існуючих, здійснює миттєву взаємодію між програмними модулями системи, завдяки мікросервісній архітектурі та враховує високонавантаженість клієнтських запитів, за рахунок горизонтального масштабування серверів, на яких розміщується програмне забезпечення системи. Особливістю автоматизованої системи є те, що вона забезпечує співробітників станції автоматизованим робочим місцем, в якому вони можуть здійснювати як управління власними задачами, так і моніторингом та контролем їх виконання, що дозволяє власникам станцій технічного обслуговування транспортних засобів контролювати увесь процес обслуговування клієнтів та правильно розставляти пріоритети виконання задач своїм співробітникам.

**Ключові слова:** станція технічного обслуговування транспортних засобів, автоматизована система, генетичний алгоритм, угорський алгоритм, складність та час виконання задачі, кваліфікація робітника, співробітник станції технічного обслуговування.

**Abstract.** The method of automated process of assigning tasks to employees of vehicle service stations based on genetic and Hungarian algorithms has been improved, which, unlike existing ones, takes into account the complexity of the task, the time of task execution and the qualifications of workers, and also allows to speed up and optimize the workflow at vehicle service stations. To evaluate the optimality of solution options, a new criterion is proposed, which, in addition to the qualifications of the worker, the complexity and time of the task, allows taking into account the needs of the enterprise in different seasons. The experimental data of the proposed algorithms were computerized. The initial data for the computer experiment were taken as data on the functioning of a real service station in Vinnytsia with and without the automated application of an improved method of assigning tasks to employees of a vehicle service station based on genetic and Hungarian algorithms. Computer experiments have shown that genetic algorithm work better with a large number of tasks, and the Hungarian algorithm works better with a small number of tasks. On the basis of the proposed improvements and algorithms, a cross-platform automated system for vehicle service station employees has been developed, which, unlike existing ones, provides instant interaction between the system's software modules, thanks to the microservice architecture and takes into account the high load of client requests, due to the horizontal scaling of the servers that host the system software. A special feature of the automated system is that it provides station employees with an automated workplace where they can manage their own tasks and monitor and control their execution, which allows vehicle service station owners to control the entire customer service process and correctly prioritize tasks for their employees.

**Key words:** vehicle service station, automated system, genetic algorithm, Hungarian algorithm, task complexity and time, worker's qualification, service station employee.

**DOI:** <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-57-2-25-32>.

### Вступ

В сучасному сьогодні широко постає питання автоматизації управління та моніторингу усього робочого процесу не тільки на станціях технічного обслуговування а й на підприємствах в цілому [1]. Звичайна задача розподілу добре відома і має широке застосування в сферах планування персоналу, розподілу завдань, завантаження робочих місць, розташування об'єктів і планування робочої сили. Вона також розглядається як підзадача при розв'язанні багатьох складних задач комбінаторної оптимізації [2-6].

### Актуальність

Існує досить велика кількість систем, які надають певні можливості пришвидшити процес створення замовлення з подальшою можливістю управління та призначення. Однак, жоден з них не можна назвати системою з повноцінними автоматизованими робочими місцями для кожного співробітника станції технічного обслуговування.

Аналіз показав, що подібні системи мають такі основні недоліки: по-перше, відсутність так званих власних сторінок (робочих місць) для співробітників, де вони могли б займатись управлінням своїх задач, а їх директори – моніторингом та контролем виконання; по-друге, відсутність функції автоматичного призначення задач для виконавців (опираючись на кваліфікації співробітників та рівень складності задач), що б спростило робочий процес та стало важливим фактором в прискоренні виконання замовлень; по-третє, є складнощі з простим формуванням замовлення та збереження усієї необхідної інформації в єдиній системі із сховищем даних.

Для усунення цих недоліків слід удосконалити метод призначення задач для співробітників станції технічного обслуговування (СТО) транспортних засобів, використавши один із алгоритмів пошуку та оптимізації як базовий. Удосконалений метод інтегрувати в автоматизоване робоче місце співробітників СТО, де і буде здійснюватися менеджмент задач кожного робітника.

### Мета

Метою статті є пришвидшення та оптимізація робочого процесу на станціях технічного обслуговування транспортних засобів за рахунок математичних моделей процесу призначення задач, яка враховує одночасно складність задач, час виконання задач та кваліфікацію робітників.

### Задачі

1. Розробити математичну модель процесу призначення завдань для співробітників СТО транспортних засобів, яка враховує одночасно складність завдань, час виконання завдань та кваліфікацію робітників.
2. Розробити алгоритм вирішення задачі про призначення завдань для співробітників СТО транспортних засобів, яка враховує одночасно складність задач, час виконання задач та кваліфікацію робітників.
3. Розробити інформаційну систему на основі запропонованих удосконалень та алгоритмів, яка працюватиме в режимі реального часу.

### Розв'язання задач

Для розв'язання поставлених задач застосовуватимуться угорський та генетичний алгоритм, що широко використовуються в задачах розподілу, зокрема тоді, коли необхідним є врахування вартості того чи іншого процесу, зокрема йдеться про задачі, пов'язані з транспортуванням, перевезенням вантажів, товарів, доставки ресурсів з одного пункту призначення в інший з мінімальними затратами. Також подібні алгоритми широко використовують для роботи з системами, де широко застосовуються вагові коефіцієнти, задачами про призначення процесів між робітниками, коли за один процес відповідає один робітник. Проте широкого поширення і практичної реалізації даних алгоритмів для призначення задач співробітникам станцій технічного обслуговування не дістав, через недосконалість критеріїв оптимальності, які традиційно використовувались і не враховували особливості цієї задачі. Тому потрібно виконати удосконалення критеріїв оптимальності рішень для більш ефективного застосування цих відомих методів для розподілу задач на станціях технічного обслуговування.

Здійснимо постановку задачі про призначення, тобто опишемо початкові умови. В системі є інженери: A, B, C, D. Кожен інженер має набір характеристик  $\{t, c, p\}$ , де:

“t” – середній час його роботи (чим більше, тим гірше (для СТО)),

“c” – його кваліфікація (чим більша – тим краща (для СТО)),

“p” – його зарплата за умовну одиницю часу роботи (чим більша – тим гірше для СТО).

Графічне представлення постановки задачі про призначення приведено на рис. 1.

Також в системі є задачі: X, Y, Z, W. Кожна задача має характеристику “s” – складність [1-4]. Чим більша цифра – тим складніша задача (тим гірше для СТО).

Змоделюємо задачу про призначення завдань інженерам для вирішення її Угорським алгоритмом. Першим кроком треба скласти матрицю відповідності де будуть пересікатись кожна задача з кожним інженером. Коли дана матриця буде заповнена значеннями, можна буде вирішити задачу Угорським алгоритмом. За алгоритмом треба буде шукати найменші значення. Тому для кожної комірки, тобто для кожного варіанту вирішення кожної задачі кожним інженером треба знайти певний коефіцієнт (і чим меншим він буде – тим краще).

Формуємо його наступним чином: якщо якась характеристика краща для СТО коли вона зростає - кладу в знаменник; якщо якась характеристика гірша для СТО коли вона зростає - кладу в чисельник. Даний коефіцієнт чим менший – тим кращий.

$$K = \frac{s \cdot t \cdot p}{c \cdot 100}, \quad (1)$$

де  $t > 0$ .

В формулі не враховується якість роботи, оскільки коефіцієнт кваліфікації сильно корелює з якістю роботи співробітників станцій технічного обслуговування.

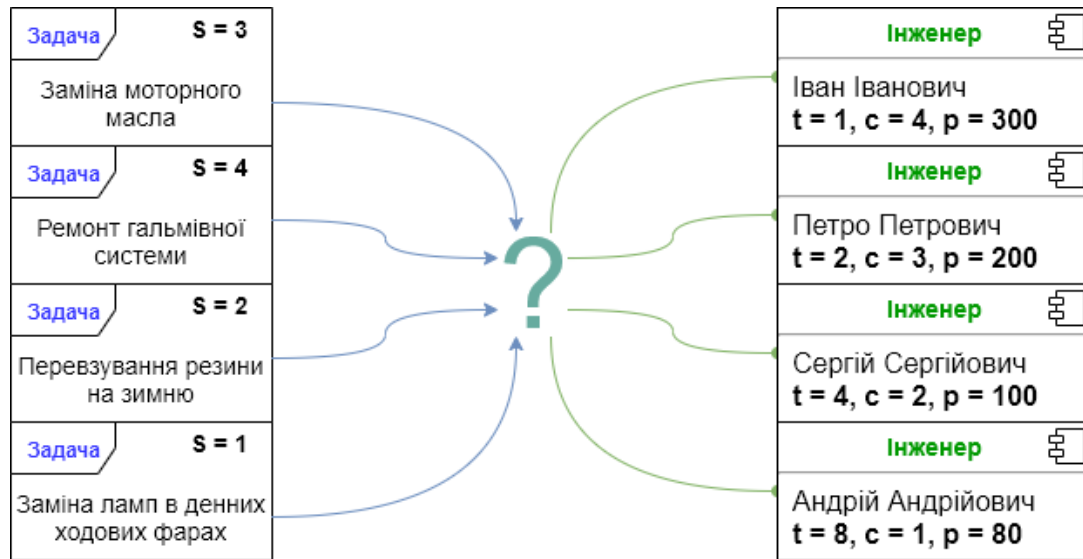


Рисунок 1 – Графічне представлення постановки задачі про призначення

Покладемо складність задачі, зарплату інженера та час виконання в чисельник бо чим вони вищі - тим гірше для СТО. А кваліфікацію інженера в знаменник, бо чим вона більша - тим краще для СТО. Також можна додати степені важливості до чисельника і знаменника – а та b відповідно:

$$K = \frac{(s \cdot t \cdot p)^a}{(c \cdot 100)^b} \quad (2)$$

І таким чином регулювати потреби підприємства в різні сезони роботи. Тепер можна для кожної комбінації розрахувати цей коефіцієнт:

Наступним кроком можна заповнити матрицю. Заповнена матриця відображена в табл. 1.

Таблиця 1 – Матриця, заповнена значеннями коефіцієнтів

|          | Інженер А | Інженер В | Інженер С | Інженер D |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Задача X | 2,25      | 2         | 6         | 19,2      |
| Задача Y | 3         | 5,3       | 8         | 25,6      |
| Задача Z | 0,75      | 1,3       | 2         | 6,4       |
| Задача W | 1,5       | 2,7       | 4         | 12,8      |

Матриця готова для вирішення Угорським алгоритмом (де найменше значення – там краще). Тепер інтерпретуємо модель задачі для вирішення її Генетичним алгоритмом.

Здійснимо визначення критеріїв цільової функції. Першим x критерієм буде характеристика задачі, а саме – її складність s. А другим y критерієм буде характеристика інженера. Характеристику інженера визначимо наступним чином:

$$y = \frac{c \cdot 100}{t \cdot p} \quad (3)$$

Чим вища характеристика інженера, тим краще для СТО. Тому в чисельник покладено кваліфікацію інженера, яка повинна прямувати до максимуму. А в знаменник – час виконання та його оплата – що повинні прямувати до мінімуму.

Здійснимо визначення цільової функції. Загалом, цільова функція буде прямувати до мінімуму, отже в чисельник необхідно покласти складність задачі – x. А в знаменник – характеристика інженера у яка має прямувати до максимуму. У висновку виходить що:

$$F = \sum \left( \frac{x_i}{y_i} \right). \quad (4)$$

Таким чином, наша цільова функція готова. Наступним етапом необхідно обчислити характеристику  $x$  кожного інженера спираючись на початкові дані:

Далі, можемо заповнити матрицю для Генетичного алгоритму. Для цього в будь-якому порядку записуємо задачі в таблицю, в 4 рядка, тобто формуємо 4 хромосоми. Кожен стовпчик – це інженер, який може виконати лише 1 задачу. Матриця для Генетичного алгоритму відображена в табл. 2.

Таблиця 2 – Матриця для Генетичного алгоритму

| Інженер А | Інженер В | Інженер С | Інженер D |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X         | Y         | W         | Z         |
| Z         | X         | Y         | W         |
| W         | Z         | X         | Y         |
| Y         | Z         | W         | X         |

Наступним кроком починаємо розв'язувати задачу Генетичним алгоритмом. Робимо по одній мутації двох елементів в двох будь-яких хромосомах.

Наприклад: в першій хромосомі міняємо 2 і 3 елементи місцями, в третій – 1 і 3 елементи. В результаті отримуємо 2 нові хромосоми з новим порядком (набором) елементів. Напишемо усі існуючі і отримані хромосоми в матрицю, що відображена в табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця з існуючими і отриманими хромосомами

| A | B | C | D |
|---|---|---|---|
| X | Y | W | Z |
| Z | X | Y | W |
| W | Z | X | Y |
| Y | Z | W | X |
| X | W | Y | Z |
| X | Z | W | Y |

Наступним етапом буде обрахунок цільової функції для кожної хромосоми.

$$F_1 = \frac{x_X}{y_A} + \frac{x_Y}{y_B} + \frac{x_W}{y_C} + \frac{x_Z}{y_D} = \frac{3}{1.33} + \frac{4}{0.75} + \frac{2}{0.5} + \frac{1}{0.16} = 17.84,$$

$$F_2 = \frac{x_Z}{y_A} + \frac{x_X}{y_B} + \frac{x_Y}{y_C} + \frac{x_W}{y_D} = \frac{1}{1.33} + \frac{3}{0.75} + \frac{4}{0.5} + \frac{2}{0.16} = 25.26,$$

$$F_3 = \frac{x_W}{y_A} + \frac{x_Z}{y_B} + \frac{x_X}{y_C} + \frac{x_Y}{y_D} = \frac{2}{1.33} + \frac{1}{0.75} + \frac{3}{0.5} + \frac{4}{0.16} = 33.83,$$

$$F_4 = \frac{x_Y}{y_A} + \frac{x_Z}{y_B} + \frac{x_W}{y_C} + \frac{x_X}{y_D} = \frac{4}{1.33} + \frac{1}{0.75} + \frac{2}{0.5} + \frac{3}{0.16} = 27.08,$$

$$F_5 = \frac{x_X}{y_A} + \frac{x_W}{y_B} + \frac{x_Y}{y_C} + \frac{x_Z}{y_D} = \frac{3}{1.33} + \frac{2}{0.75} + \frac{4}{0.5} + \frac{1}{0.16} = 37.17,$$

$$F_6 = \frac{x_X}{y_A} + \frac{x_Z}{y_B} + \frac{x_W}{y_C} + \frac{x_Y}{y_D} = \frac{3}{1.33} + \frac{1}{0.75} + \frac{2}{0.5} + \frac{4}{0.16} = 31.83.$$

Тепер, маючи набір значень цільових функцій, виберемо з нього 4 найкращі варіанти використовуючи фітнес функцію. Для нашого випадку, цільова функція прямує до мінімуму, тому необхідно буде обрати найменші результати. Отже:  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_4$  та  $F_6$ .

Наступним етапом необхідно взяти три хромосоми що відповідають цим цільовим функціям та повторити процедуру мутації та застосування фітнес функції знову. Такий цикл можна проробити 5-10 разів.

На основі запропонованих удосконалень та алгоритмів розроблено інформаційну систему. Основною вимогою при розробці інформаційної автоматизованої системи робочих місць для співробітників СТО транспортних засобів є забезпечення можливості використовувати систему за допомогою будь якого пристрою з доступом в інтернет. Розроблена інформаційна система містить крос-платформну клієнтську частину, яка має зручний та зрозумілий інтерфейс і надає можливість швидкої взаємодії користувача із системою та її базою даних в режимі реального часу. Крім того, система здійснює миттєву взаємодію між програмними модулями системи завдяки мікросервісній архітектурі та враховує високонавантаженість клієнтських запитів, за рахунок горизонтального масштабування серверів, на яких розміщується програмне забезпечення системи. Особливістю автоматизованої системи є те, що вона забезпечує співробітників станції автоматизованим робочим місцем, в якому вони можуть здійснювати як управління власними задачами, так і моніторингом та контролем їх виконання, що дозволяє власникам станцій технічного обслуговування транспортних засобів контролювати увесь процес обслуговування клієнтів та правильно розставляти пріоритети виконання задач своїм співробітникам (рис. 2).

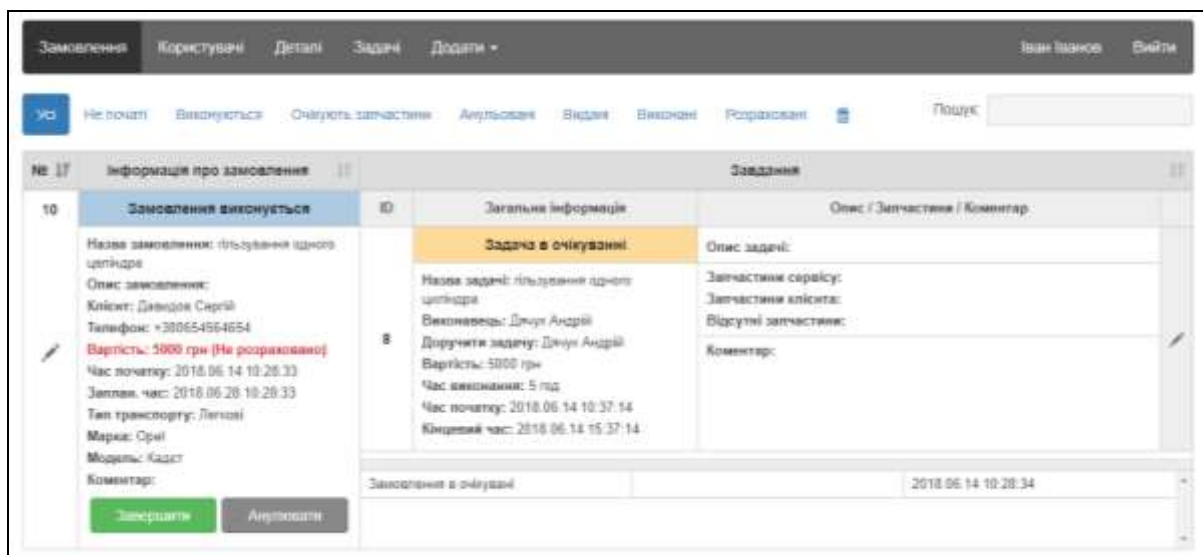


Рисунок 2 – Вигляд крос-платформної клієнтської частини

Проведено комп'ютерну обробку експериментальних даних роботи запропонованих алгоритмів. В якості вихідних даних для проведення даного експерименту були взяті дані по функціонуванню реального СТО в м. Вінниця з та без автоматизованого застосування удосконаленого методу призначення задач для співробітників станції технічного обслуговування транспортних засобів на базі генетичного та угорського алгоритмів.

Слід відмітити, що протягом періоду збирання фактичних даних, якість робіт не погіршилась, що підтверджується відгуками клієнтів СТО, тому основним критерієм, який слід аналізувати, є час виконання.

Порівняння результатів роботи системи, створеної на основі реалізації запропонованих алгоритмів, із класичним варіантом функціонування СТО приведено на рис. 3.

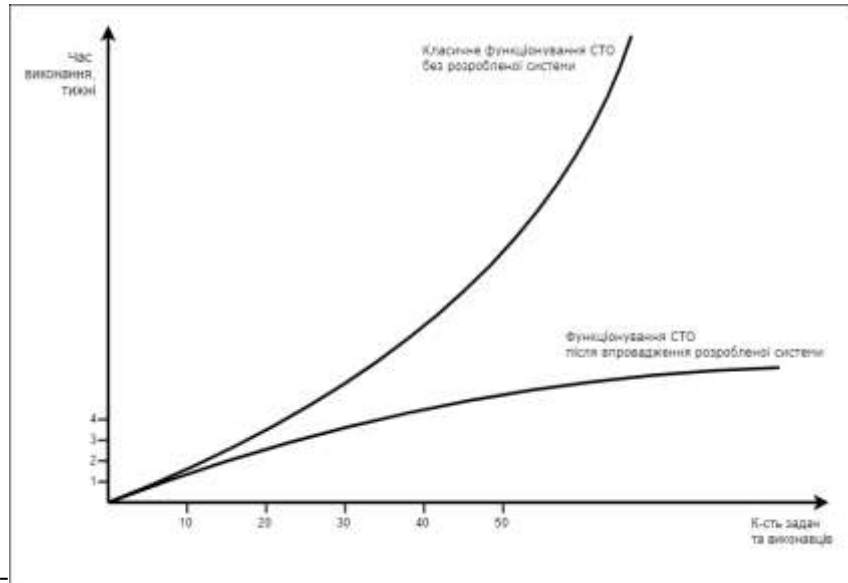


Рисунок 3 – Графік результатів роботи розробленої системи в порівнянні з класичним функціонуванням СТО

На рис. 4 наведено графік порівняння результатів роботи угорського та генетичного алгоритмів.

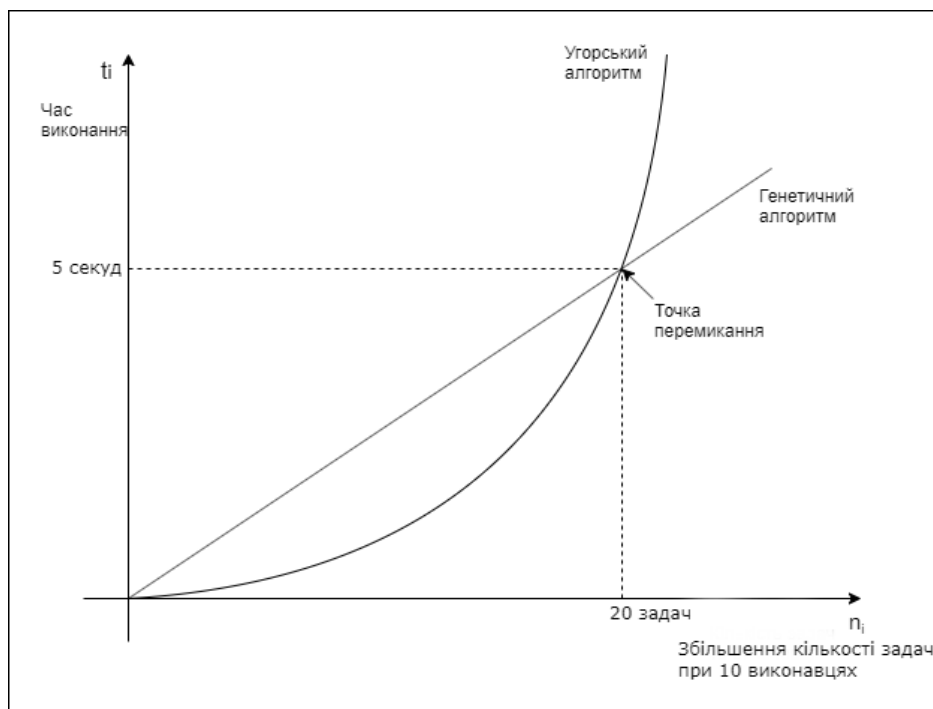


Рис. 4. Графік порівняння результатів роботи угорського та генетичного алгоритмів

З рис. 4 зрозуміло, що при наявності великої кількості задач краще працює генетичний алгоритм, а при невеликій кількості – угорський алгоритм.

### Висновки

Удосконалено метод автоматизованого процесу призначення задач для співробітників СТО транспортних засобів на базі генетичного та угорського алгоритмів, який на відміну від існуючих, враховує одночасно, крім складності задач, часу виконання задач та кваліфікації робітників, також кількість наявних задач: за великої кількості наявних задач застосовується генетичний алгоритм, при невеликій кількості – угорський алгоритм.

Крім того, розроблено інформаційну систему, яка на відмінну від існуючих, здійснює миттєву взаємодію між програмними модулями системи, завдяки мікросервісній архітектурі та враховує високонавантаженість клієнтських запитів, за рахунок горизонтального масштабування серверів, на яких розміщується програмне забезпечення системи. А також забезпечує співробітників станцій автоматизованим робочим місцем, в якому вони можуть здійснювати як управління власними задачами, так і моніторингом та контролем їх виконання, що дозволяє власникам станцій технічного обслуговування транспортних засобів контролювати увесь процес обслуговування клієнтів та правильно розставляти пріоритети виконання задач своїм співробітникам.

### Список літератури

- [1] А. Ю. Дячук, та О. М. Козачко, "Вирішення задачі про призначення в модульній інформаційній системі станції технічного обслуговування," на *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2019)*. Вінниця, 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/8087/6759>.
- [2] M. R. Farzanegan, H. F. Gholipour, M. Feizi, R Nunkoo, and A. E. Andargoli, "Combinatorial Reinforcement Learning of Linear Assignment Problems," in *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference - ITSC*, 2019. doi: 10.1109/ITSC.2019.8916920.
- [3] A. Banaei, J. Alamatian, and R. Z. Tohidi, "Active control of structures using genetic algorithm with dynamic weighting factors using in the constrained objective function," *Structures*, vol. 47, pp. 189-200, 2023. doi: 10.1016/j.istruc.2022.11.049.
- [4] I. Younas, F. Kamrani, M. Bashir, and J. Schubert, "Efficient genetic algorithms for optimal assignment of tasks to teams of agents," *Neurocomputing*, vol. 314, pp.409-428, 2018. doi: 10.1016/j.neucom.2018.07.008.
- [5] T. Öncan, Z. Şuvak, M. H. Akyüz, and İ. K. Altinel, "Assignment problem with conflicts," *Computers & Operations Research*, vol. 111, pp. 214-229, 2019. doi: 10.1016/j.cor.2019.07.001.
- [6] K. Shah, P. Reddy, and S. Vairamuthu, "Improvement in Hungarian Algorithm for Assignment Problem," *Artificial Intelligence and Evolutionary Algorithms in Engineering Systems*, vol. 324, pp. 1-8, 2014. doi: 10.1007/978-81-322-2126-5\_1.

Стаття надійшла: 28.04.2023.

### References

- [1] A. Y. Diachuk, та O. M. Kozachko, "Vyrishennia zadachi pro pryznachennia v modulnii informatsiinii sy-stemi stantsii tekhnichnoho obsluhovuvannia, " на *Molod v nauksi: doslidzhennia, problemy, perspektyvy (MN-2019)*. Vinnytsia, 2019. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/8087/6759>. – [in Ukrainian].
- [2] M. R. Farzanegan, H. F. Gholipour, M. Feizi, R Nunkoo, and A. E. Andargoli, "Combinatorial Reinforcement Learning of Linear Assignment Problems," in *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference - ITSC*, 2019. doi: 10.1109/ITSC.2019.8916920.
- [3] A. Banaei, J. Alamatian, and R. Z. Tohidi, "Active control of structures using genetic algorithm with dynamic weighting factors using in the constrained objective function," *Structures*, vol. 47, pp. 189-200, 2023. doi: 10.1016/j.istruc.2022.11.049.
- [4] I. Younas, F. Kamrani, M. Bashir, and J. Schubert, "Efficient genetic algorithms for optimal assignment of tasks to teams of agents," *Neurocomputing*, vol. 314, pp.409-428, 2018. doi: 10.1016/j.neucom.2018.07.008.
- [5] T. Öncan, Z. Şuvak, M. H. Akyüz, and İ. K. Altinel, "Assignment problem with conflicts," *Computers & Operations Research*, vol. 111, pp. 214-229, 2019. doi: 10.1016/j.cor.2019.07.001.
- [6] K. Shah, P. Reddy, and S. Vairamuthu, "Improvement in Hungarian Algorithm for Assignment Problem," *Artificial Intelligence and Evolutionary Algorithms in Engineering Systems*, vol. 324, pp. 1-8, 2014. doi: 10.1007/978-81-322-2126-5\_1.

### Відомості про авторів

**Козачко Олексій Микоалійович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій

**Крижановський Євгеній Миколайович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

**Жуков Сергій Олександрович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

**Варчук Ілона Вячеславівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

O. M. Kozachko, Y. M. Kryzhanovskyi, S. O. Zhukov, I. V. Varchuk

**IMPROVEMENT OF ASSIGNING TASKS METHOD FOR  
THE VEHICLE MAINTENANCE EMPLOYEES BASED ON  
GENETIC AND HUNGARIAN ALGORITHMS**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia