

## МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ РОБОТІВ-КУР'ЄРІВ З УРАХУВАННЯМ ПРІОРИТЕТІВ ВІДВІДУВАННЯ

Дьяконенко Н.Л.<sup>1</sup>, Хацько Н.Е.<sup>2</sup>, Хацько К.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Анотація.** З огляду на актуальність застосування роботів-кур'єрів у роботі проведено аналіз алгоритмів конструювання маршруту руху об'єкта по точкам. За допомогою метода відпалу для прокладання траєкторії розроблено програмний додаток з графічним інтерфейсом, який реалізує конструювання маршруту руху об'єкта по точкам з різним пріоритетом.

**Ключові слова:** безпілотні апарати, метод відпалу, метод рухомої прямої, точки з різним пріоритетом, огинання перешкод.

### Вступ

Розробка систем керування рухом об'єктів є напрямом, що динамічно розвивається. Відомо застосування подібних систем для управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА), які використовуються в цивільних і воєнних областях, наприклад, для спостереження за поверхнею Землі або для доставки вантажів [1]. На сьогоднішній день більшість існуючих БПЛА пілкуються вручну за допомогою пультів дистанційного керування, що працюють на радіоканалах. Однак, загальновідомо, що використання радіоканалів має ряд недоліків. У число цих недоліків входять: можливість втрати зв'язку через придушення радіочастот, фізичні перешкоди для поширення сигналу, перешкоди на близьких частотах передачі та інші. Також при ручному управлінні БПЛА виникають труднощі, пов'язані з підготовкою персоналу, технічними обмеженнями, погодними умовами.

Крім БПЛА для доставки вантажів конкурують наземні мобільні роботи – кур'єри (комівояжери, тобто безпілотні апарати, які виконують обов'язки агентів торгової організації, що доставляють покупцям товари). Наземні мобільні роботи адаптуються до міської інфраструктури. Наприклад, при русі по тротуару вони розганяються не швидше 5-6 км/год, а при русі по вело доріжці можуть нарощувати швидкість до 12–14 км/год. Роботи-кур'єри, в основному, «імітують» пішохода – переходять дороги по «зебрам», рухаються по тротуарах і велодоріжках, а не по вулицях в загальному потоці з автомобілями.

Використання роботів-кур'єрів призводить до збільшення швидкості та зниження собівартості надання послуг у порівнянні з

використанням кур'єрів-людей. Таким чином, розвиток бус пілотних пристроїв для доставки вантажів має економічні підстави та стимулює до впровадження.

Порівняння наземного та повітряного способів доставки за умов міського скупчення людей та багатоповерхової забудови показує переваги наземного способу доставки перед доставкою БПЛА. Використання наземних роботів-кур'єрів гарантує, що ні вантаж, ні апарат не звалиться на голову перехожому навіть в разі, якщо «щось піде не так». Звичайно, важливо ще подивитися, як буде сприйматися цей комівояжер у житті громадян. В деяких країнах вже почалося використання подібних роботів з комерційними цілями. Звісно, виникають питання безпеки вантажів та самих пристроїв: «Чи не стануть напади вандалів на роботів занадто частими? Чи готові будуть покупці мати справу з таким комівояжером?» Швидше за все проблеми вирішаться і автономні системи наземної доставки незабаром отримають помітне розповсюдження.

### Аналіз публікацій

Для доставки різноманітних вантажів робот-кур'єр має прокласти оптимальний маршрут між різними цілями для найефективнішого результату роботи. При цьому треба прийняти до уваги різноманітні фактори, що можуть вплинути на траєкторію: відстань між цілями, тип вантажів, тип доставки, габарити чи вага тощо. При прокладці траєкторій на шляху пристрою можуть стати різні види перешкод. Найкращим є алгоритм, який дозволяє будувати траєкторію з початкової точки в кінцеву з автоматичним створенням маршруту на основі пріоритетів заданих то-

чок, уникати зіткнення з перешкодами, пересуватися між необмеженою кількістю точок і у випадку наявних перешкод визначити додаткові пункти запланованого маршруту для обгинування перешкод [1-3].

Робот-кур'єр – це лише частинна комплексу необхідного для функціонування апарату. В комплекс має входити система передачі даних та програмне забезпечення для побудови маршруту. Для роботів з системою автоматичного конструювання траєкторії можна виділити перелік задач виконання яких необхідно для вирішення проблеми реалізації руху. Однією з цих задач є визначення пріоритету цілей, оскільки, продукти харчування, наприклад, мають бути доставлені у першу чергу, а побутові товари і тощо можуть бути затримані. Проте навіть в таких випадках можуть виникнути винятки, наприклад, ліки, які мають бути доставлені терміново чи термінова документація. Виходячи з усього цього зрозуміло, що сучасна система керування роботом-кур'єром, має самостійно вирішувати цю задачу у реальному часі [4].

Для різних типів роботів-кур'єрів необхідно створити різні алгоритми керування. Це необхідно через різницю не тільки в конструкції, але й в методах пересування. Різні типи роботів-кур'єрів, мають різні типи контрольних поверхонь, керуючих пристроїв, двигунів тощо. Через це для кожного окремого типу необхідно створити свій власний алгоритм пересування у просторі. Проте незалежно від типу роботу, задача конструювання траєкторії з точок різного пріоритету з можливістю уникнення перешкод на шляху не змінюється. Завдяки цьому можна створити універсальний алгоритм, який зможе спростити роботу безпілотних кур'єрів, сприяти розвитку їх використання [5, 6].

Комерційні фірми не розкривають своїх секретів перед конкурентами, використовуваними ними алгоритми залишаються невідомі. Тому задача розробки алгоритмів конструювання траєкторії пересування малого автоматичного робота-кур'єра залишається актуальною.

### Мета та постановка завдання

Розробка методу пересування роботів - кур'єрів у просторі вимагає залучення великої кількості кваліфікованих фахівців і коштів. Дана робота концентрується тільки на створенні алгоритму конструювання траєкторії руху об'єкту з точок різного пріоритету.

Мета роботи полягає у розробці методу автоматичного конструювання траєкторій, що проходить по точкам з різним пріоритетом, та розробці на його основі програмного додатку з графічним інтерфейсом.

### Результати досліджень

1. Алгоритм побудови маршруту робота кур'єру з урахуванням пріоритетів першочерговості.

Задача знаходження траєкторії об'єкту за точками з різними пріоритетами вимагає знайти найкоротший замкнений шлях між деякою кількістю точок так, щоб в кожній точці побувати лише один раз. Для вирішення цієї задачі було обрано ймовірнісний метод відпалу.

Алгоритм імітації відпалу – загальний метод розв'язання задачі дискретної та комбінаторної оптимізації [4]. Алгоритм ґрунтується на імітації фізичного процесу, який відбувається при кристалізації речовини з рідкого стану в твердий при відпалі металів. Передбачається, що атоми вже вишикувалися в кристалічну решітку, але ще допустимі переходи окремих атомів з однієї комірки в іншу. Передбачається, що процес протікає при поступовому зниженні температури. Перехід атома з однієї комірки в іншу відбувається з деякою ймовірністю, причому вірогідність зменшується з пониженням температури. Сійка кристалічна решітка відповідає мінімуму енергії атомів, тому атом або переходить в стан з меншим рівнем енергії, або залишається на місці. За допомогою моделювання описаного процесу шукається така точка або множина точок, на яких досягається мінімум деякої числової функції.

Для адаптації цього процесу до задачі комівояжера значення енергії присвоюється відстані між двома деякими точками, які необхідно відвідати, де значення з меншою відстанню буде відповідати меншій енергії. Завдяки ймовірності того, що може бути вибрано значення з більшою енергією, ми уникаємо можливості застрягти у локальному мінімумі. Це може, наприклад, статися при використанні методу градієнтного спуску. Існування єдиної змінної в методі відпалу впливає на результат та спрощує подальшу модифікацію на основі параметрів кожної окремої точки.

До початку роботи алгоритму для кожної точки визначається значення пріоритету на основі її заданих параметрів. Ці параметри визначаються з бізнес правил для кожного

окремого випадку використання даного алгоритму. Наприклад, доставка товарів, у тому числі їжі, де пріоритет визначається на основі двох параметрів: швидкого псування продукту та терміновості, яка визначається замовником продукту, наприклад, за додатковими коштами. Для розробки та тестування було визначено 3 рівня за показником швидкості псування (Ш1, Ш2, Ш3), та 3 рівня за показником терміновості доставки (Т1, Т2, Т3), де 1 відповідає найменшому пріоритету, а 3 - найвищому. Приклад надання параметрів та їх поєднання наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахунок пріоритетів товарів

Різновиди вантажів	Пріоритет	Коефіцієнт, $k_i$
Без пріоритету	10	1
Швидкопсувний 1(Ш1)	9	0,9
Швидкопсувний 2(Ш2)	7	0,7
Швидкопсувний 3(Ш3)	5	0,5
Терміновий 1(Т1)	8	0,8
Терміновий 2(Т2)	6	0,6
Терміновий 3(Т3)	4	0,4
Ш1Т1	7	0,7
Ш1Т2	5	0,5
Ш1Т3	3	0,3
Ш2Т1	5	0,5
Ш2Т2	3	0,3
Ш2Т3	2	0,2
Ш3Т1	3	0,3
Ш3Т2	2	0,2
Ш3Т3	1	0,1

Пріоритети можуть бути легко модифіковані шляхом додавання нових параметрів і змінення вагових коефіцієнтів. В результаті роботи цієї частини алгоритму отримуємо масив з визначеними пріоритетами кожної точки.

Для початку роботи методу відпалу необхідно визначити декілька параметрів:

$T$  – початкова температура системи;

$t$  - швидкість охолодження (параметр, що впливає на зміну температури системи та швидкість роботи алгоритму);

$I$  – кількість можливих ітерацій (одна з умов зупинки алгоритму за потребою);

$T_{\min}$  – мінімальна температура (одна з можливих умов зупинки алгоритму).

Для роботи алгоритму необхідно зіставити значення енергії  $E_0$ , на основі якої і буде проводитися його робота, з інтегральною характеристикою всієї системи точок. Прийме-

мо, що значення енергії буде дорівнювати загальній відстані між усіма точками:

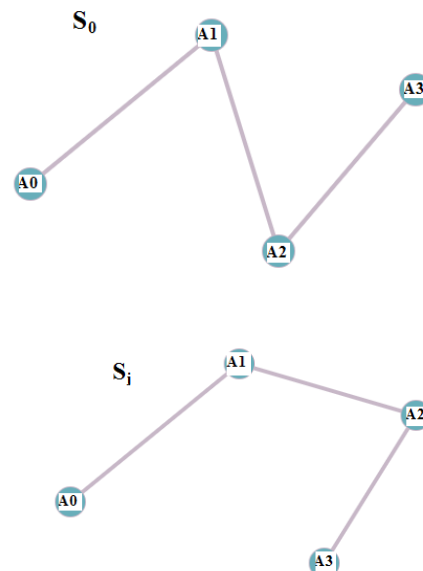
$$E_0 = \sum_{n=1}^{P-1} \left( \sqrt{(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2} \cdot k_{n+1} \right), \quad (1)$$

де  $P$  – загальна кількість точок в системі.

Відстань між окремими точками може бути додатково модифікована на подальших кроках алгоритму на основі параметрів точок.

Розглянемо множину  $S$  станів системи – множину всіх можливих маршрутів між всіма точками в системі. Ця множина містить усі рішення задачі, тобто усі маршрути, що проходять через кожну точку. Кожний маршрут має відповідну довжину, тому для кожного можемо вирахувати значення енергії. Нехай значення  $S_j$  є станом системи, а значення  $T_j$  температурою на  $j$ -му кроці алгоритму.

Алгоритм може починати роботу по конструюванню маршруту з будь-якої точки, але для визначеності рисунків, оберемо за початкову ліву нижню точку. З цієї точки будується випадковий маршрут  $S_0$ , і обчислюється його енергія  $E_0$ .

Рис. 1. Початковий  $S_0$  та маршрут  $S_j$  на  $j$ -му кроці

На кожному  $j$ -му кроці алгоритму дві випадкові точки змінюють свої позиції і значення енергії  $E_j$  на кроці перераховується. На рис. 1 зображено зміну позицій точок 2 і 3. Потім обчислюється різниця  $\Delta E$  між значен-

нями  $E_0$  та  $E_j$ . Якщо отримане  $\Delta E < 0$ , то значенню  $E_0$  присвоюється значення  $E_j$ . Якщо значення  $\Delta E \geq 0$ , то існує ймовірність присвоєння значення  $E_j$ , значенню  $E_0$ , що залежить від поточної температури  $T_j$ . Ця ймовірність вираховується за формулою:

$$\frac{\Delta E}{e^T} > p, \quad (2)$$

де  $p$  - значення випадкової величини на відрізьку від 0 до 1. Після цього параметр  $T$  зменшується на значення  $t$ :  $\Delta T = T - t$ .

Алгоритм продовжує роботу доки температура  $T$  не досягне мінімального значення, або кількість ітерацій не досягне визначеного на початку роботи значення  $I$ .

## 2. Контрольний приклад

Основним параметром, що впливає на енергію є відстань від точки до точки  $V$ . Цей параметр обчислюється для кожної пари точок на поточній траєкторії:

$$V_j = \sum_{n=1}^{P-1} \sqrt{(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2} \quad (3)$$

де  $P$  - кількість точок,  $n$  - поточна точка.

Енергія між кожною парою точок на траєкторії модифікується на основі масиву пріоритетів отриманого на початку роботи алгоритму. Для обчислення енергії використовується формула:

$$E_j = \sum_{n=1}^{P-1} \left( \sqrt{(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2} * k_{n+1} \right) \quad (4)$$

де  $k_{n+1}$  - коефіцієнт пріоритетності наступної точки.

Для виконання контрольного прикладу було обрано 6 точок з різними пріоритетами: A1 з пріоритетом 5, A2 - 7, A3 - 10, A4 - 4, A5 - 2, A6 - 7. На основі обраних пріоритетів точкам було надано відповідні коефіцієнти. Точка A1 є стартовою.

Для роботи алгоритму встановлено температуру  $T=1$ , зміну температури  $t=0,1$ , стартову енергію  $E_0=0$ .

Крок 1. Стан системи  $S_1$ . Побудовано маршрут  $S_1$ , що зображено на рис. 2. Результати:  $V_1=19$ ,  $E_1=12,05$ ,  $E_0=E_1$ ,  $T=0,9$ .

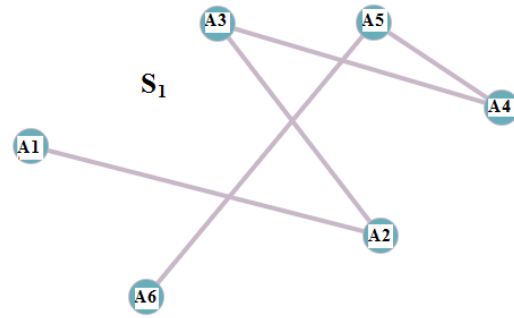


Рис. 2. Стартовий маршрут  $S_1$

Крок 2. Стан системи  $S_2$ . Генератором випадкових чисел було вибрано точки A4, A5 для заміни місцями. Результати:  $V_2=17,7$ ,  $E_2=11,81$ ,  $\Delta E=0,24$ , оскільки  $\Delta E > 0$ , то  $E_0=E_2$ ,  $T=0,8$ .

Крок 3. Стан системи  $S_3$ . Для заміни місцями генератором випадкових чисел було вибрано точки A5, A6. Результати:  $V_3=20,05$ ,  $E_3=12,69$ ,  $\Delta E=-0,88$ . Оскільки  $\Delta E < 0$ , то генератором випадкових чисел було вибрано число  $p=0,96$  і за формулою (2) розраховано ймовірність переходу на стан з більшою енергією

$$e^{\frac{-0,88}{0,8}} = 0,33 < p.$$

Тобто переходу не відбувається, алгоритм повертається до стану системи  $S_2$ ,  $T=0,7$ .

Крок 4. Стан системи  $S_4$ . Обрано точки A6, A3 для заміни місцями. Одержали відстань та енергію  $V_4=18,5$ ,  $E_4=11,02$ ,  $\Delta E=0,79$ . Оскільки  $\Delta E > 0$ , то  $E_0=E_4$ ,  $T=0,6$ .

Крок 5. Стан системи  $S_5$ . Обрано точки A2, A5 для заміни місцями. Одержали  $V_5=23,5$ ,  $E_5=13,2$ ,  $\Delta E=-2,18$ . Оскільки  $\Delta E < 0$ , то генератором випадкових чисел було вибрано число  $p=0,66$  і розраховано ймовірність переходу на стан з більшою енергією

$$e^{\frac{-2,18}{0,6}} = 0,03 < p.$$

Переходу не відбувається, алгоритм повертається до стану системи  $S_4$ ,  $T=0,5$ .

Крок 6. Стан системи  $S_6$ . Обрано точки A2, A3 для заміни місцями. Результати:  $V_6=14,6$ ,  $E_6=9,29$ ,  $\Delta E=1,73$ , оскільки  $\Delta E > 0$ , то  $E_0=E_6$ ,  $T=0,4$ .

Крок 7. Стан системи  $S_7$ . Обрано точки A5, A3 для заміни місцями. Результати:  $V_7=16,8$ ,  $E_7=10$ ,  $\Delta E=-0,71$ , оскільки  $\Delta E < 0$ , то генератором випадкових чисел було вибрано число  $p=0,61$  і розраховано ймовірність переходу на стан з більшою енергією

$$e^{\frac{-0,71}{0,4}} = 0,16 < p,$$

переходу не відбувається, алгоритм повертається до стану системи  $S_6$ ,  $T=0,3$ .

Крок 8. Стан системи  $S_8$ . Обрано точки  $A_6$ ,  $A_2$  для заміни місцями. Одержали  $V_8=17,4$ ,  $E_8=10,86$ ,  $\Delta E=-1,57$ , оскільки  $\Delta E < 0$ , то генератором випадкових чисел було вибрано число  $p=0,9$  і розраховано ймовірність переходу на стан з більшою енергією

$$e^{\frac{-1,57}{0,3}} = 0,005 < p.$$

Переходу не відбувається, алгоритм повертається до стану системи  $S_6$ ,  $T=0,2$ .

Крок 9. Стан системи  $S_9$ . Обрано точки  $A_3$ ,  $A_6$  для заміни місцями. Результати:  $V_9=13,3$ ,  $E_9=8,88$ ,  $\Delta E=0,41$ , оскільки  $\Delta E > 0$ , то  $E_0=E_9$ ,  $T=0,1$ .

Крок 10. Стан системи  $S_{10}$ . Обрано точки  $A_5$ ,  $A_3$  для заміни місцями. Одержали  $V_{10}=15,8$ ,  $E_{10}=8,82$ ,  $\Delta E=0,06$ . Оскільки  $\Delta E > 0$ , то  $E_0=E_{10}$ ,  $T=0$ .

Значення параметру  $T$  дорівнює 0, роботу алгоритму закінчено.

У результаті роботи алгоритму отримуємо остаточний маршрут  $S_{10}$  з енергією  $E_{10}=8,82$ , що зображено на рис. 3.

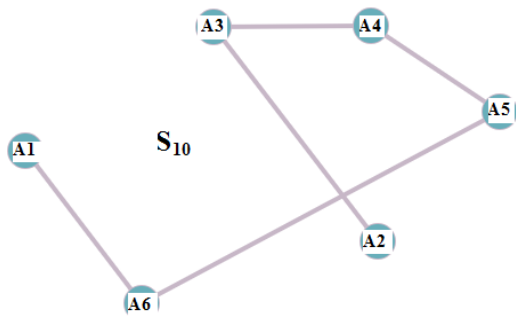


Рис. 3. Результат роботи алгоритму – остаточний маршрут  $S_{10}$

Хоча сумарна відстань маршруту  $S_{10}$  більше ніж у маршруті  $S_9$ , проте маршрут  $S_{10}$  має меншу енергію, адже точки з більшим пріоритетом ми відвідуємо раніше.

### Висновки

У роботі проведено аналіз алгоритмів конструювання маршрутів руху об'єктів. Для конструювання маршруту робота - кур'єра було обрано метод відпалу. Алгоритм для

прокладання траєкторії вдосконалено шляхом урахування пріоритетів точок, які відвідуються. Для демонстрації роботи методу розроблено програмний додаток з графічним інтерфейсом, який реалізує конструювання маршруту руху об'єкта по точкам з різним пріоритетом.

Даний алгоритм планується застосувати в комплексній програмній системі, що розробляється для прошивки всередині робота. Надалі передбачається до обмежувальних умов додати перешкоди на шляху руху об'єкту.

Наступний алгоритм буде зчитувати дані про перешкоди, будувати додаткові точки їх обходу і остаточної траєкторії руху роботів-кур'єрів.

### Література

1. Хацько Н.Е., Молчанов К.Д., Бойко Д.И. Разработка геометрического метода построения маршрута БПЛА для обхода препятствий // Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених : тези доп. XIII міжн. наук.-практ. конф. магістрантів та аспірантів. – Харків, 2019. – С. 94-95
2. Kumar M. Overview of Path Planning and Obstacle Avoidance Algorithms for UAVs: A Comparative Study / M. Kumar, M. Radmanesh, M. Sarim, P. Guentert // Unmanned Systems – 2018. – №2. – P.1-24.
3. Яковлев К.С. Метод автоматического планирования траектории беспилотного летательного аппарата в условиях ограничений на динамику полета / К.С. Яковлев, Д.А. Макаров, Е.С. Баскин // Управление большими системами: сборник трудов. – 2015. – №58. – С.306-342.
4. Shilov K., Lazurin G. MAV Autopilot For Commercial and Research Braunschweig. – Germany. – 2012.
5. Khatsko N. Development of the algorithm for aircraft control at inaccurate measurement of the state vector and variable parameter. / N. Khatsko and others // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – Kharkiv, Vol 1, No 9 (91), 2018. – P. 32-38, //doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123271
6. Henderson D., Jacobson S.H., Johnson A.W. (2003) The Theory and Practice of Simulated Annealing. In: Glover F., Kochenberger G.A. (eds) Handbook of Metaheuristics. International Series in Operations Research & Management Science, vol 57. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/0-306-48056-5\_10

### References

1. Hacco N.E., Molchanov K.D., Bojko D.I. Razrabotka geometricheskogo metoda postroeniya marsh-ruta BPLA dlya obhodaprepyatstvij // Teoretichni ta praktichni doslidzhennya molodih vchenih : tezi dop. VIII mizhn. nauk.-prakt. konf.

- magistrantiv ta aspirantiv. – Harkiv, 2019. – S. 94-95
2. Kumar M. Overview of Path Planning and Obstacle Avoidance Algorithms for UAVs: A Comparative Study / M. Kumar, M. Radmanesh, M. Sarim, R. Guentert // *Unmanned Systems* – 2018. – №2. – P.1-24.
  3. Yakovlev K.S. Metod avtomaticheskogo planirovaniya traektorii bespilotnogo letatel'nogo aparata v usloviyah ogranichenij na dinamiku poleta / K.S. Yakovlev, D.A. Makarov, E.S. Baskin // *Upravlenie bolshimi sistemami: sbornik trudov.* – 2015. – №58. – S.306-342.
  4. Shilov K., Lazurin G. MAV Autopilot For Commercial and Research Braunschweig. — Germany. — 2012.
  5. Khatsko N. Development of the algorithm for aircraft control at inaccurate measurement of the state vector and variable parameter. / N. Khatsko and others // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* – Kharkiv, Vol 1, No 9 (91), 2018. – P. 32-38, //doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123271
  6. Henderson D., Jacobson S.H., Johnson A.W. (2003) The Theory and Practice of Simulated Annealing. In: Glover F., Kochenberger G.A. (eds) *Handbook of Metaheuristics*. International Series in Operations Research & Management Science, vol 57. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/0-306-48056-5\_10.

**Дьяконенко Ніна Леонідівна**, к.ф.-м.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства тел. +38-057-707-37-30, e-mail:

[dnina490@gmail.com](mailto:dnina490@gmail.com). Харківський національний автомобільно-шляховий університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

**Хацько Наталія Євгенівна**, к.т.н., доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, тел. +38-057-707-69-21, e-mail: [n.khatzko@gmail.com](mailto:n.khatzko@gmail.com) Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", вул. Кірпичова, 2, м. Харків, Україна.

**Хацько Кирило Олександрович**, асистент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, тел. +38-057-707-69-21, e-mail: [bm13kk@gmail.com](mailto:bm13kk@gmail.com) Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", вул. Кірпичова, 2, м. Харків, Україна.

#### Modeling the trajectory of courier robots taking into account the priorities of the visit

**Problem.** Automatic control systems for courier robots are rapidly developing and need a modern algorithms. It is necessary to take into account the additional characteristics of the visited points to form a route for the movement of the robot that is optimal for solving business problems. The paper discusses the principles of forming additional parameters of destinations, and also describes the annealing algorithm for constructing the route of the courier-robot. The purpose of the work is to develop a method for

automatically constructing a route for a courier-robot, taking into account the priorities of destinations and the possibility of avoiding obstacles along the route. **Methodology.** It is proposed to form an integrated characteristic of destinations in accordance with the parameters of the delivered goods: shelf life, shelf life of the goods required by the consumer, and the urgency of delivery of this product to a specific consumer. The problem of finding the optimal route to taking into account different priorities of destinations is solved using the probabilistic method of annealing. The paper presents an algorithm for the formation of an integral characteristic for each destination with the subsequent construction of a route. An algorithm for applying the annealing method for the task of constructing a route is described. The route formation algorithm has been modified by adding additional characteristics for each destination. To demonstrate the operation of the algorithm, a numerical example is given, which was processed using the created software application with a graphical interface for entering data and outputting the result. **Conclusion.** The basis for further modification of the algorithm for constructing the route of the robot courier has been created. In further development, it is planned to expand the list of parameters that form the integral characteristic of the destination and change the route construction algorithm taking into account the perimeters of obstacles that arise along the path of the robot.

**Key words:** unmanned vehicles, trajectory calculation, annealing method, points with different priority, obstacle avoidance.

**Diakonenko Nina Leonidovna**, Ph.D., Associate Professor, Department of Metal Technology and Materials Management tel. + 38-057-707-37-30, e-mail: [dnina490@gmail.com](mailto:dnina490@gmail.com). Kharkiv National Automobile and Highway University, 61002, Ukraine, Kharkov, st. Yaroslav the Wise, 25.

**Khatsko Natalia Evgenievna**, Ph.D., Associate Professor, of the Department software engineering and information management, tel. +38-057-707-69-21, [n.khatzko@gmail.com](mailto:n.khatzko@gmail.com) National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" Ukraine, Kharkov, st. Kirpichova, 2.

**Khatsko Kyrylo Alexandrovich**, assistant of Professor, of the Department software engineering and information management, tel. + 38-057-707-69-21, [bm13kk@gmail.com](mailto:bm13kk@gmail.com) National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Ukraine, Kharkov, st. Kirpichova, 2.

#### Моделирование траектории движения роботов-курьеров с учетом приоритетов посещения

**Аннотация.** Разработка систем управления движением беспилотных объектов является перспективным направлением. В работе проведен анализ алгоритмов конструирования маршрута движения робота – курьера по заданным точкам. На основе анализа было выбрано метод

отжига для прокладывания траектории. Для создания программного обеспечения использовался объектно-ориентированный язык программирования Java. При выполнении алгоритма программного обеспечения рассчитывает маршрут движения объекта по точкам с разным приоритетом первоочередности. Рассчитанная конечная траектория выводится на экран в графическом виде. Разработанное программное приложение является работоспособным, имеет необходимую функциональность, простой графический интерфейс, обеспечивающий легкое его использование для определения траектории движения роботов - курьеров. Проведено тестирование созданного приложения.

**Ключевые слова:** беспилотные аппараты, расчет траектории, метод отжига, точки с разным приоритетом.

**Дьяконенко Нина Леонидовна**, к.ф.м.н., доцент кафедры технологии металлов и материаловедения

тел. +38-057-707-37-30, [dnina490@gmail.com](mailto:dnina490@gmail.com).

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, 61002, Украина.

**Хацько Наталия Евгеньевна**, к.т.н., доцент кафедры программной инженерии и информационных управления.

тел. +38-057-707-69-21, [n.khatzko@gmail.com](mailto:n.khatzko@gmail.com)

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина, г. Харьков, ул. Кирпичова, 2.

**Хацько Кирилл Александрович**, ассистент кафедры программной инженерии и информационных управления.

тел. +38-057-707-69-21, [bm13kk@gmail.com](mailto:bm13kk@gmail.com)

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, г. Харьков, ул. Кирпичова, 2.