

## РОЗРОБКА НИЗЬКОВАРТІСНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ДОПОМІЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ІНТЕГРОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

**В.М. Грижак, Н.В. Здорик, Д. В. Гурін**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14

E-mail: [valeriia.hryzhak@nure.ua](mailto:valeriia.hryzhak@nure.ua), [nikita.zdoryk@nure.ua](mailto:nikita.zdoryk@nure.ua), [dmytro.gurin@nure.ua](mailto:dmytro.gurin@nure.ua)

**Анотація:** У роботі розглянуто підхід до розробки низьковартісного автоматизованого допоміжного транспортного засобу для інтегрованого виробництва. Проведено аналіз сучасних роботизованих платформ для внутрішньої логістики, зокрема рішень класів AGV та AMR, і обґрунтовано доцільність створення доступного апаратно-програмного макета для транспортних операцій у відкритих або напіввідкритих виробничих умовах. Запропоновано структуру системи на базі плати Arduino UNO, драйвера L298, GPS-модуля, електронного компаса, Bluetooth-модуля та акумуляторного живлення. Визначено основні переваги розробки, зокрема невисоку вартість, простоту реалізації, модульність та можливість подальшої модернізації.

**Ключові слова:** автоматизований транспортний засіб, AGV, AMR, Arduino UNO, GPS-навігація.

## DEVELOPMENT OF A LOW-COST AUTOMATED AUXILIARY VEHICLE FOR INTEGRATED MANUFACTURING

**Hryzak V., Zdoryk N., Gurin D.**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: [valeriia.hryzhak@nure.ua](mailto:valeriia.hryzhak@nure.ua), [nikita.zdoryk@nure.ua](mailto:nikita.zdoryk@nure.ua), [dmytro.gurin@nure.ua](mailto:dmytro.gurin@nure.ua)

**Annotation:** The paper considers the development of a low-cost automated auxiliary vehicle for integrated manufacturing. Current robotic platforms for internal logistics, including AGV and AMR solutions, are analyzed, and the feasibility of creating an affordable hardware-software prototype for transport operations in open or semi-open industrial environments is substantiated. The proposed system architecture is based on Arduino UNO, an L298 motor driver, a GPS module, an electronic compass, a Bluetooth module, and battery power supply. The main advantages of the developed approach include low cost, implementation simplicity, modularity, and the possibility of further modernization.

**Key words:** automated vehicle, AGV, AMR, Arduino UNO, GPS navigation.

Сучасне виробництво, складська логістика та системи внутрішнього транспортування матеріалів активно інтегрують роботизовані рішення, здатні виконувати переміщення комплектуючих і готової продукції без участі оператора. Особливе місце у цій сфері посідають автоматизовані транспортні засоби типу AGV та автономні мобільні роботи AMR, застосування яких дозволяє зменшити частку операцій, підвищити ефективність логістичних процесів і скоротити витрати часу, але більшість промислових платформ такого класу є достатньо дорогими та орієнтованими на масштабні виробничі або складські комплекси, що обмежує можливість їх використання у навчальних, експериментальних і малобюджетних проєктах.

Актуальністю даної роботи є створення маловартісного автоматизованого допоміжного транспортного засобу, який поєднуватиме функціональність, простоту реалізації та можливість подальшого розвитку. Метою роботи є розробка макета автоматизованого

допоміжного роботизованого транспортного засобу для інтегрованого виробництва, призначеного для переміщення вантажів у межах відкритих або напіввідкритих виробничо-логістичних територій. Для досягнення мети необхідно проаналізувати сучасні транспортні роботизовані системи, обґрунтувати вибір компонентної бази, сформувавши структуру апаратної частини, визначити принципи навігації та оцінити переваги запропонованого рішення.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** На першому етапі проаналізовано сучасні підходи до побудови автоматизованих транспортних платформ. Класичні AGV, як правило, функціонують за попередньо визначеними маршрутами та потребують відповідної інфраструктурної підготовки середовища. На відміну від них, AMR використовують бортові сенсори, програмні засоби локалізації та алгоритми побудови траєкторії, що допомагає адаптувати рух до змін виробничої обстановки й обходити перешкоди без жорсткої прив'язки до фіксованої траси.

Аналіз існуючих рішень показав, що ринок пропонує широкий спектр платформ для автоматизації внутрішнього транспортування. Роботи Locus Robotics орієнтовані на оптимізацію складського комплектування, платформи OMRON LD застосовуються для автоматизації переміщення матеріалів у виробничих і складських приміщеннях, MiR200 реалізує концепцію гнучкого перевезення вантажів у внутрішній логістиці, а розробки SBRobotics демонструють адаптацію роботизованих платформ до завдань локального ринку. Отже, у порівнянні з існуючими промисловими рішеннями запропонований макет орієнтований не на відтворення повного спектра функцій автономної навігації, а на реалізацію базових принципів автоматизованого транспортування, координатного переміщення та модульної побудови системи.

Запропонований автоматизований допоміжний транспортний засіб являє собою мобільну платформу, яка здатна рухатися до заданої точки за координатним принципом. Структурно система включає підсистему керування, навігаційну підсистему, привід, модуль бездротового зв'язку та систему енергоживлення. Як керуючий елемент обрано платформу Arduino UNO, яка є технологічно доступною, простою у програмуванні та достатньою для реалізації базових алгоритмів керування транспортним засобом. Для керування двигунами використано драйвер L298, що забезпечує побудову двоканального H-моста та дозволяє реалізувати зміну напрямку обертання і регулювання швидкості двигунів постійного струму. До складу системи також входять GPS-модуль для визначення координат, електронний компас для оцінювання поточного курсу, Bluetooth-модуль для передавання команд із зовнішнього пристрою та акумуляторне живлення. Структурну організацію запропонованого рішення доцільно подати у вигляді рисунка 1.

Під час обґрунтування апаратної частини враховано підходи до проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів і мікроконтролерних платформ, а також загальні принципи побудови малогабаритних роботизованих систем. У порівнянні з одноплатними комп'ютерами, зокрема Raspberry Pi Zero W, використання Arduino UNO у межах цієї задачі є доцільним з огляду на простоту реалізації, достатність функціональних можливостей для керування макетом та спрощення апаратної структури. Модульний підхід до побудови транспортного засобу відповідає загальним тенденціям проектування мобільних роботів і створює можливість для подальшого функціонального розширення системи [2, 3].

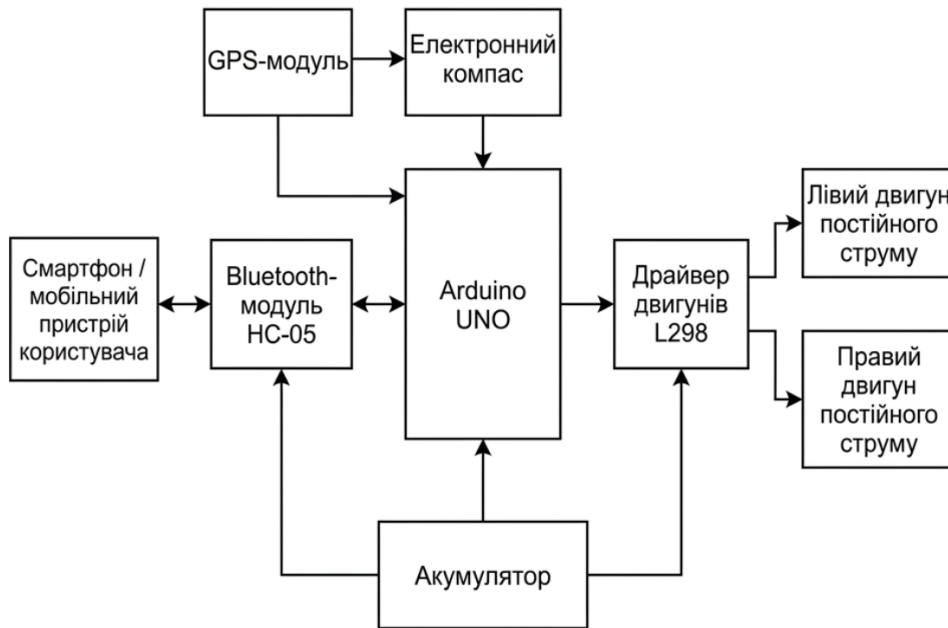


Рисунок 1 – Структурна схема автоматизованого допоміжного транспортного засобу

Одним із важливих етапів проектування є оцінювання автономності роботи системи. Необхідна ємність акумулятора може бути визначена співвідношенням (1)

$$C_{ак} = \sum I \times t \times k_3 \quad (1)$$

де  $C_{ак}$  — необхідна ємність акумулятора;  $\sum I$  — сумарний струм споживання всіх елементів системи;  $t$  — заданий час автономної роботи;  $k_3$  — коефіцієнт запасу.

Це співвідношення дозволяє ще на етапі проектування оцінити вимоги до джерела живлення та співвіднести технічні можливості платформи з режимом її використання.

Програмна частина системи орієнтована на рух транспортного засобу до заданих координат, базовий принцип такого керування полягає у визначенні напрямку на цільову точку та корекції поточного курсу платформи в процесі руху. Похибка орієнтації може бути описана виразом:

$$\varepsilon = \alpha - \psi \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  — похибка орієнтації,  $\alpha$  — напрямок на цільову точку,  $\psi$  — поточний курс платформи.

Мінімізація цієї похибки дає змогу реалізувати корекцію траєкторії та забезпечити наближення транспортного засобу до заданої координати. Такий підхід не претендує на повноцінну реалізацію складних алгоритмів автономної навігації, однак є достатнім для демонстрації базових принципів роботи автоматизованого транспортного засобу.

Основними перевагами запропонованого рішення є простота апаратної реалізації, модульність конструкції, використання поширених технічних компонентів та можливість подальшої модернізації системи. У порівнянні з існуючими промисловими AGV та AMR-платформами запропонований транспортний засіб має спрощену функціональну структуру, однак зберігає придатність для дослідницького, навчального та демонстраційного застосування. Водночас слід враховувати, що використання GPS обмежує точність позиціонування у внутрішніх приміщеннях, тому така система є найбільш доцільною для відкритих територій, напіввідкритих виробничих майданчиків або як дослідницький макет.

Подальший розвиток платформи може бути пов'язаний із переходом до комбінованої навігації, використанням ультразвукових, інерціальних або візуальних сенсорів, а також із розширенням алгоритмів виявлення перешкод і планування маршруту.

ВИСНОВКИ. У роботі розглянуто підхід до створення низьковартісного автоматизованого допоміжного транспортного засобу для інтегрованого виробництва. Проведений аналіз сучасних транспортних роботизованих систем підтвердив доцільність розробки доступного апаратно-програмного макета, орієнтованого на виконання базових логістичних операцій. Запропонована структура системи на базі Arduino UNO, драйвера L298, GPS-модуля, електронного компаса, Bluetooth-модуля та акумуляторного живлення забезпечує можливість реалізації транспортної платформи з базовою навігацією за координатами. Практична цінність роботи полягає у поєднанні інженерної доступності, модульності та перспективи подальшого вдосконалення. Подальші дослідження доцільно спрямувати на підвищення точності позиціонування, реалізацію комбінованої навігації та інтеграцію засобів виявлення перешкод.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Yang, S., Meng, L., Ullah, S., Zhang, B., Sang, H., & Duan, P. (2025). MILP modeling and optimization of multi-objective three-stage flexible job shop scheduling problem with assembly and AGV transportation. *IEEE Access*, 13, 25369-25386.
2. Liu, N., Hu, Z., Wei, M., Guo, P., Zhang, S., & Zhang, A. (2025). Improved A\* algorithm incorporating RRT\* thought: A path planning algorithm for AGV in digitalised workshops. *Computers & Operations Research*, 177, 106993..
3. Palomares, J., Carmona-Cejudo, E., Cervelló-Pastor, C., Coronado, E., Chergui, H., & Siddiqui, M. S. (2025). Inter-AGV scheduling and a novel multi-agent collaborative protocol for intra-AGV resource allocation in MEC-enabled multi-AGV scenarios. *IEEE Open Journal of the Communications Society*.
4. Keith, R., La, H. M. Review of Autonomous Mobile Robots for the Warehouse Environment. *arXiv*, 2024.
5. Ellithy, K., Salah, M., Fahim, I. S., Shalaby, R. AGV and Industry 4.0 in Warehouses: A Comprehensive Analysis of Existing Literature and an Innovative Framework for Flexible Automation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2024.
6. Mobile Industrial Robots. AMR vs AGV: What's the Difference [Електронний ресурс] / Mobile Industrial Robots. – URL: <https://mobile-industrial-robots.com/blog/agv-vs-amr-whats-the-difference>– Дата звернення: 18.03.2026.
7. Locus Robotics. Automated Warehouse Robots | Warehouse Robotics Solutions [Електронний ресурс] / Locus Robotics. – URL: <https://locusrobotics.com>. – Дата звернення: 18.03.2026.
8. OMRON. Omron LD-250 Mobile Robot [Електронний ресурс] / OMRON Automation. – URL: <https://automation.omron.com/en/us/promotions/omron-ld250-mobile-robot-launch>. – Дата звернення: 21.03.2026.
9. Mobile Industrial Robots. Autonomous Mobile Robots – Discover AMRs from MiR [Електронний ресурс] / Mobile Industrial Robots. – URL: <https://mobile-industrial-robots.com/products/robots>. – Дата звернення: 10.03.2026.
10. SBRobotics. Robotic universal platform (AGV) SBR-500-SM [Електронний ресурс] / SBRobotics. – URL: <https://sbrobotics.ua/en/uslugi/sortuvalni-sistemi/platforma>. – Дата звернення: 12.03.2026.
11. Raspberry Pi Ltd. Raspberry Pi Zero W [Електронний ресурс] / Raspberry Pi. – URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-w>. – Дата звернення: 12.03.2026.

12. Arduino. UNO R3 | Arduino Documentation [Електронний ресурс] / Arduino. – URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>. – Дата звернення: 12.03.2026.
13. STMicroelectronics. L298 – Dual Full-Bridge Driver [Електронний ресурс] / STMicroelectronics. – URL: <https://www.st.com/en/motor-drivers/l298.html>. – Дата звернення: 12.03.2026.
14. Yevsieiev V., Gurin D., Kulish S., Voloshyn Y. Development of a partially supervised Markov decision-making model for a 3-link collaborative robot-manipulator // *Radioelectronic and Computer Systems*. – 2025. – № 4. – P. 83–94. – DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2025.4.06>
15. Невлюдов І. Ш. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6 : підручник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв – Харків, 2020. - 257 с.
16. Невлюдов І. Ш. Технічне та програмне забезпечення розробки малогабаритного мобільного робота : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Д. В. Гурін // Кривий Ріг: Криворізький фаховий коледж Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут», 2025. – 355 с. - DOI : <https://doi.org/10.30837/978-617-8332-74-7>.
17. Проектування мобільних маніпуляційних роботів : монографія / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв та ін. ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – 427 с.
18. Nevliudov , I. ., Omarov , M. ., Yevsieiev , V. ., Maksymova , S. ., & Jabrayilzade , E. . (2026). MATHEMATICAL MODELING OF TRAJECTORIES CONSTRUCTION, MOVEMENT OF THE GRIPPING DEVICE OF A COLLABORATIVE ROBOT. *Advanced Information Systems*, 10(1), 11–20. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2026.1.02>
19. Industry 5.0 та колаборативна робототехніка: динамічний опис навколишнього середовища роботів-маніпуляторів з використанням мови Python: монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2026. – 279 с. <https://doi.org/10.30837/978-617-8332-95-2>
20. Yevsieiev V. Intelligent Collaborative Control of Mobile Robots for Emergency and Rescue Operations Within the Industry 5.0 Paradigm / V. Yevsieiev // Yevsieiev V. Intelligent Collaborative Control of Mobile Robots for Emergency and Rescue Operations Within the Industry 5.0 Paradigm / V. Yevsieiev // *Intelligent Civil Safety Technologies and Robotic Systems for Emergency and Rescue Operations (ICSTRO-2026) : Proceedings of I-st All-Ukrainian Conference, February 12-23, 2026. – Kharkiv, 2026. - P. 144-147.*
21. Yevsieiev V. Digital Twins of Collaborative Robotic Systems for Decision Support in Emergency Situations / V. Yevsieiev, S. Svetlana // *Intelligent Civil Safety Technologies and Robotic Systems for Emergency and Rescue Operations (ICSTRO-2026) : Proceedings of I-st All-Ukrainian Conference, February 12-23, 2026. – Kharkiv, 2026. - P. 153-156.*
22. Model with Neural Network Component for Adaptive Manipulator Control under Variable Load / Amer Abu-Jassar, Mohammad Hamdan, Nowfal Aweisi, Mahmoud Howaidi, V. Yevsieiev, V. Lyashenko // *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*. –19(1). – 2026. – P. 855-868. <https://doi.org/10.32403/10.22266/ijies2026.0131.51>
23. Yevsieiev V. Multi-Agent Collaborative Robots With Adaptive Sensor Fusion for Monitoring and Mitigation of Emergency Situations / V. Yevsieiev, N. Demska // *Інтелектуальні технології цивільної безпеки та робототехнічні системи аварійно-рятувальних робіт 2026 : матеріали І-ої Всеукраїнської конфер.12-13 лютого 2026 р. - Харків: [електронний друк], 2026. – С. 162-165.*