

УДК 621.86

DOI: 10.15276/pidtt.1.68.2023.03

Михайлов Є. П., Лінгур В. М., Антихович Д. С., Нирков М. О.

Національний університет «Одеська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ І ЗАСОБІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ДЛЯ СКЛАДСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

***Анотація.** Проведений аналіз існуючих засобів переміщення складських транспортних засобів, які можна використовувати для розробки алгоритмів керування переміщенням робота на складі. Були визначені найпростіші транспортні засоби, які дозволяють здійснювати переміщення вантажу на стелажних складах. Розроблені алгоритми переміщення транспортного засобу, а також керування пристроями встановлення та зняття вантажу. Наведені залежності параметрів керування цих засобів, які потребуються для програмної реалізації цих алгоритмів. Результати роботи використовувались для створення стендів при проведенні лабораторних та практичних занять.*

***Ключові слова:** транспортний засіб, складська система, навантажувачі, алгоритми переміщення, система керування, вилочний навантажувач.*

Вступ

Переміщення матеріальних об'єктів в логістичному ланцюзі практично неможливо без їх концентрації на складах. Одним з елементів цього ланцюга є розміщення готової продукції на складі, тому велике значення має завдання оптимізації розташування об'єктів складської транспортної системи, що дозволяє мінімізувати витрати, зв'язані з транспортуванням продукції в задані точки [1].

Сучасні складські системи широко використовують автоматизовані та автоматично керовані транспортні засоби [2], тому представляє інтерес розробка таких засобів.

Широке використання в таких системах знайшли автоматизовані вилочні навантажувачі, які дозволяють вирішувати задачі переміщення вантажу по складу та обслуговування стелажів (встановлення та зняття вантажу).

Автоматично керовані транспортні засоби забезпечують гнучкість складської транспортної системи та можливість переналадження шляху переміщення транспортного робота за рахунок зміни спеціалістом програми переміщення транспортними

засобами. Використання автоматично керованих транспортних засобів на розподільному складі може дозволити значно зменшити витрати на транспортування вантажу, підвищити ефективність транспортування та виключити людський фактор.

Для дослідження алгоритмів переміщення складських транспортних засобів були розроблені стенди навантажувачів з вилючними підйомниками, які використовувались також для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем [1].

1. Аналіз сучасних транспортних засобів переміщення вантажу в автоматизованих складах

Підйомно-транспортні машини і механізми на складах забезпечують механізацію та автоматизацію основних складських операцій: підйому вантажу, переміщення, укладання в стелажі, штабелі та вилучення з них.

Автоматизовані склади являють собою дві самостійні частини: автоматизовані складські і транспортні підсистеми.

Автоматизована складська система призначена для прийому і зберігання вантажів та характеризуються типом конструкції стелажів і штабелювальні машин; об'ємом і розмірами складу; виконуваними функціями; типами і параметрами складської тари; розташуванням ділянок прийому і видачі вантажів по відношенню до зони зберігання, рівнем і технічними засобами автоматизації та інші. Вибір автоматизованої транспортної системи визначається типом автоматизованої складської системи, тому розглянемо основні типи цих систем.

У ряді випадків, наприклад, для харчових та тютюнових виробів, є можливість зберігати продукцію одного виду у вигляді досить великих пакунків – вантажних пакетів, встановлених на піддони (палети). У подальшому будемо розглядати саме такі товари.

Для переміщення вантажів, що встановлені на палети, можна використовувати так звані подвійні полози (Doppelkufensystem), які здійснюють синхронне переміщення (рис. 1) [3].



Рисунок - 1. Переміщення палет за допомогою подвійних полозів

Переміщення здійснюється за допомогою двох пар рульових коліс з незалежним керуванням швидкості обертання кожного колеса та керуванням куту повороту (рис. 2, а). Встановлення палети здійснюється шляхом підйому полозів завдяки обертанню коліс на місці, як це показано на рис. 2, б.

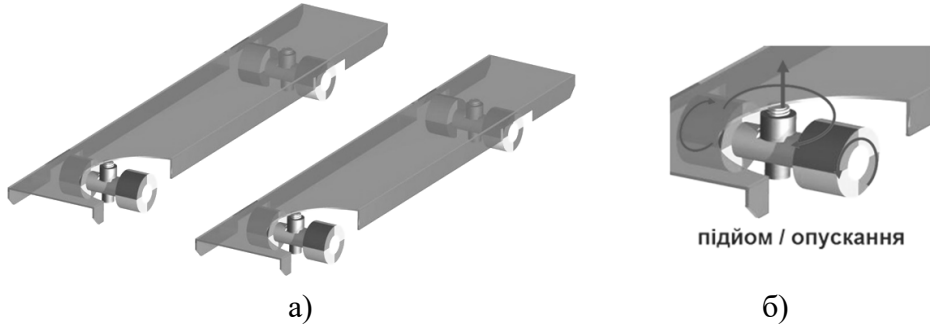


Рисунок - 2. Конструкція полозу (а) та принцип підйому/опускання (б)

Недоліком таких засобів переміщення є необхідність використання додаткових пристроїв для встановлення вантажу на стелаж.

Для зберігання такого вантажу найчастіше використовуються стелажні склади, а для його переміщення та встановлення на стелажі використовують навантажувачі та штабелери.

Оскільки механізми підйому вантажу залежать від типу стелажів, розглянемо основні типи стелажів, що використовуються для стелажних складів для зберігання штучних товарів.

Найбільш поширеними є склади з фронтальними, набивними (глибинними) та гравітаційними стелажми (рис. 3).

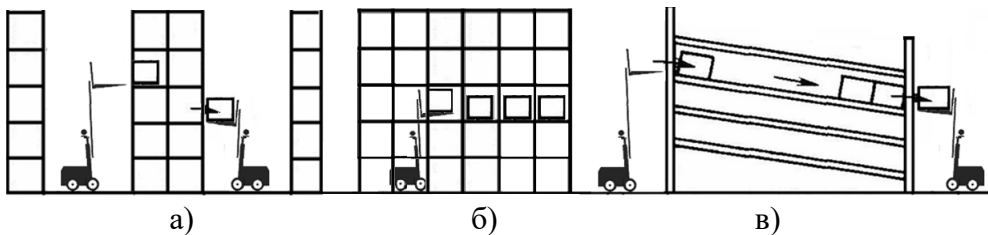


Рисунок - 3. Склади з фронтальними (а), набивними (глибинними) (б) та гравітаційними (в) стелажми

Для обслуговування таких складів використовують виличні навантажувачі, які будемо розглядати далі.

Для виличних навантажувачів найчастіше використовується транспортні засоби з приводом типу трицикл або з диференційним приводом, наведені на рис.4.

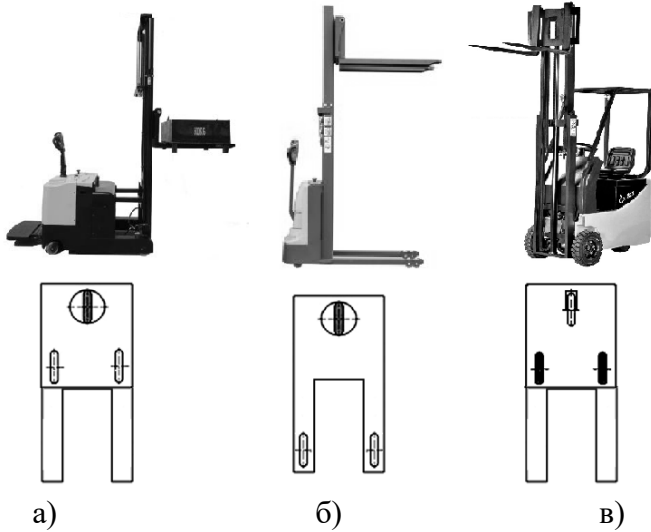


Рисунок - 4. Транспортні засоби з приводом типу трицикл (а, б) та диференційним приводом (в)

Транспортні засоби з приводом типу трицикл можуть мати опорні колеса безпосередньо на візку (рис. 4, а) або під вилючним навантажувачем (рис. 4, б).

2. Розробка засобів переміщення візка

Схеми розрахунку параметрів переміщення транспортних засобів з приводом типу трицикл або з диференційним приводом наведені на рис. 5 [4].

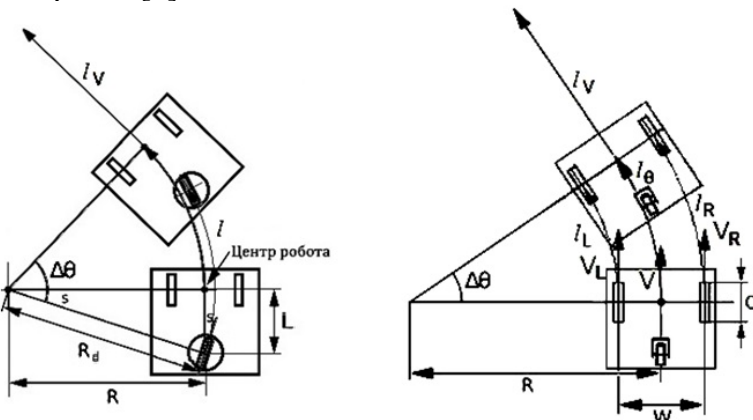


Рисунок – 5. Схема розрахунку параметрів переміщення транспортних засобів з приводом типу трицикл (а) та з диференційним приводом (б)

Для триколісного робота, як було показано в [4], радіус дузі повороту робота R , кут повороту робота $\Delta\theta$, кут повороту ведучого колеса відносно робота s , переміщення ведучого колеса l за час Δt при

швидкості переміщення V та відстань між ведучим та опорними колесами L пов'язані такими залежностями

$$R = \frac{L}{\tan s}, \quad \Delta\theta = \frac{V\Delta t \sin s}{L} = \frac{l \sin s}{L}.$$

Тому параметрами для програмування переміщення по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ треба задати кут повороту у ведучого колеса s та переміщення ведучого колеса l :

$$s = \arctg \frac{L}{R}, \quad l = \frac{L \Delta\theta}{\sin s}.$$

Для диференційного привода радіус дузі повороту робота R , кут повороту робота $\Delta\theta$, швидкість переміщення робота V , швидкості переміщення лівого та правого коліс V_L , V_R , переміщення лівого та правого коліс l_L , l_R та відстань між колесами W пов'язані такими залежностями

$$R = \frac{W(V_R + V_L)}{2(V_R - V_L)}, \quad \Delta\theta = \frac{(V_R - V_L)\Delta t}{W}.$$

Визначимо параметри, що потрібні для програмування переміщення робота з диференційним приводом.

Шлях, який пройде ліве колесо по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ дорівнює

$$l_L = (R - W/2) \Delta\theta.$$

Шлях, який пройде праве колесо по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ дорівнює

$$l_R = (R + W/2) \Delta\theta.$$

Переміщення по прямій здійснюється, коли колеса переміщуються з однаковою швидкістю, тому відстань, що пройде робот за час Δt при швидкості переміщення V , для обох видів приводів визначається залежністю

$$l_V = V\Delta t.$$

Для розрахунку потужності двигунів будемо використовувати метод, що дозволяє визначити параметри двигуна та редуктора виходячи з максимального прискорення транспортного засобу при пересуванні (рис. 6).

Рівняння балансу потужності можна представити як:

$$P_K = F_k \cdot v = m (g (k_f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + a) \cdot v = m (9,81 (0,014 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + v^2 / (2 \cdot l_{\text{розг}})) v,$$

де: P_K – сумарна тягова потужність, що підводиться до ведучих коліс, Вт;

m – маса транспортного засобу, кг;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

k_f – коефіцієнт опору коченню (для асфальтобетонного або цементобетонного покриття у відмінному стані $k_f = 0,014$);

α – кут ухилу дорожнього полотна, градуси;

v – швидкість переміщення транспортного засобу;
 a – прискорення транспортного засобу, м/с^2 .

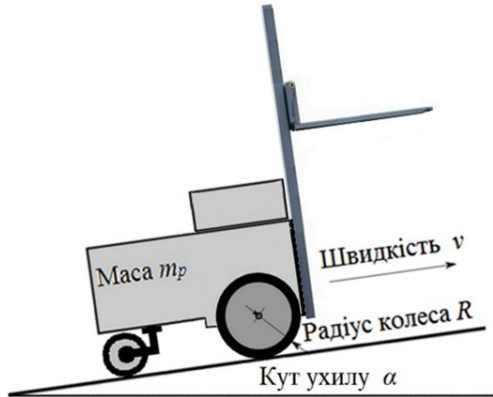


Рисунок – 6. Вихідні дані для розрахунку потужності двигунів

Якщо число приводних коліс однакової потужності n , то з урахуванням ККД трансмісії $\eta_{\text{тр}}$ (прийmemo $\eta_{\text{тр}} = 0,85$) отримаємо для потужності електродвигуна:

$$P_{\text{дв}} = P_K / (n \cdot \eta_{\text{тр}}).$$

Крутний момент та потужність двигуна пов'язані такою залежністю

$$M_K = P_K \eta_{\text{дв}} / \omega_{\text{дв}} = P_K \eta_{\text{дв}} / (2 \pi f_{\text{дв}}),$$

де: $f_{\text{дв}}$ – частота обертання двигуна, Гц,
 $\eta_{\text{дв}}$ – коефіцієнт корисної дії двигуна.

Для розрахунку необхідної для руху частоти обертання двигуна без редуктора скористаємося формулою:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f_{\text{дв}},$$

де: v – швидкість транспортного засобу, м/с ;
 r – радіус ведучого колеса, м .

Якщо номінальна частота обертання двигуна може забезпечити значно більшу швидкість переміщення, ніж потребується, доцільно використати редуктори, які дозволяють зменшити швидкість переміщення та відповідно зменшити потужність двигуна, що важливо для автономних транспортних засобів, живлення яких здійснюється за допомогою акумуляторів.

Для розрахунку необхідної для руху частоти обертання двигуна з урахуванням передавального числа редуктора u_p маємо:

$$v = (2 \cdot \pi \cdot r \cdot f) / u_p,$$

Звідси отримуємо формулу обчислення частоти обертання валу двигуна:

$$f_{\text{дв}} = (v \cdot u_p) / (2 \cdot \pi \cdot r),$$

а передавальне число редуктора електродвигуна буде визначатися як:

$$u_p = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f_{\text{дв}} / v.$$

3. Розробка засобів встановлення та зняття вантажу

Розглянемо засоби встановлення та зняття вантажу, які встановлюються на автоматичних навантажувачах [6].

Сучасні навантажувачі найчастіше використовують ланцюгові та телескопічні підйомники.

На рис. 7 наведений виловний навантажувач з ланцюговим підйомником.

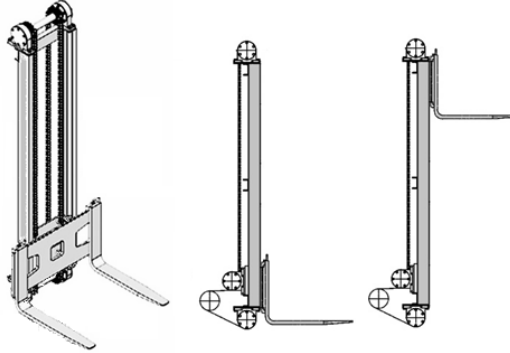


Рисунок - 7. Виловний навантажувач з ланцюговим підйомником

На рис. 8 наведений приклад використання вилового навантажувача з телескопічним підйомником.

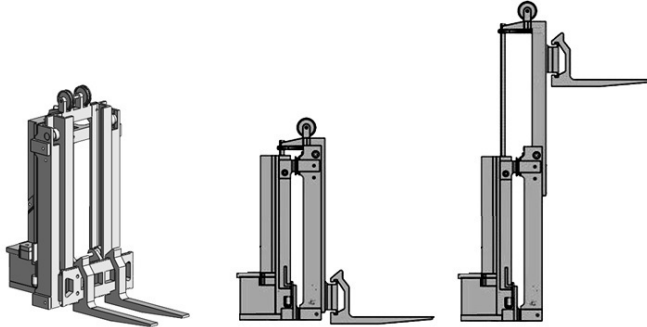


Рисунок - 8. Виловний навантажувач з телескопічним підйомником

На рис. 9 наведені стенди навантажувачів, які були розроблені та зроблені у студентських гуртках.

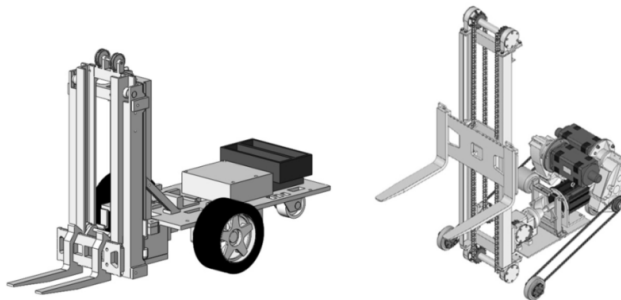


Рисунок - 9. Стенди навантажувачів

На рис. 10 наведена схема підключення виконавчих та інформаційних пристроїв до контролера Arduino,

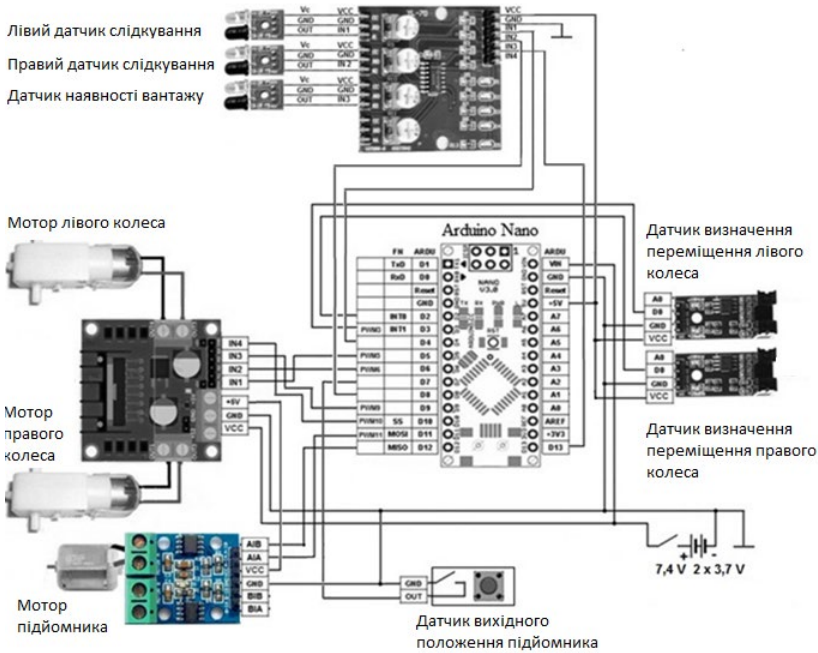


Рисунок - 10. Схема підключення виконавчих та інформаційних пристроїв до контролера

Наведені датчики та виконавчі пристрої входять до складу апаратно-програмного комплексу Arduino [7].

4. Розробка алгоритму керування вилочним навантажувачем

Розглянемо алгоритм переміщення вантажу з однієї комірки до іншої.

Послідовність переміщень для зняття, переміщення та встановлення вантажу наведена на рис. 11.

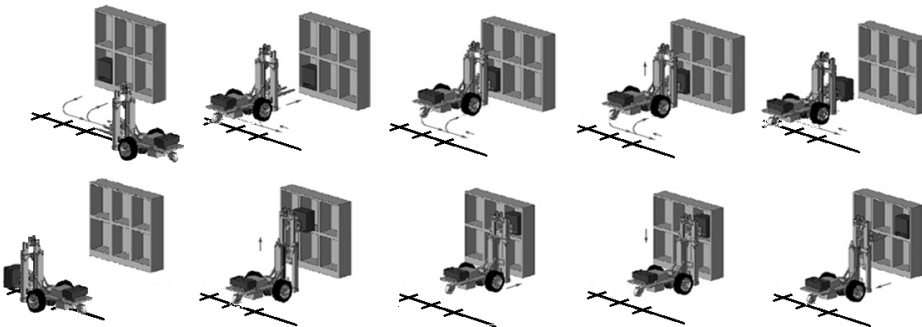


Рисунок - 11. Послідовність переміщень вантажу

Вантаж знаходиться у правій нижній комірці стелажу. Навантажувач знаходиться в стороні від стелажа, перпендикулярно відносно напрямлення переміщення до комірки на лінії вказівника (позиції напроти комірок відзначені позначкою).

За допомогою оптичних датчиків слідкування та вказівника маршруту здійснюється переміщення вилочного навантажувача до позиції зняття вантажу шляхом підрахунку кількості позначек.

Поворот навантажувача на 90° , переміщення до комірки з вантажем та зняття вантажу з комірки стелажу виконується за допомогою імпульсних датчиків визначення лінійного переміщення механізмів переміщення візка та підйому вилочного захвату.

Після цього здійснюється повернення на вказівник маршруту та переміщення до позиції встановлення вантажу аналогічно попередньому переміщенню.

Потім вантаж встановлюється в комірку так, як було здійснено зняття вантажу.

Після переміщення вантажу навантажувач переміщується у вихідне положення.

На рис. 12 наведена блок схема алгоритму, який здійснює вказану послідовність переміщень.

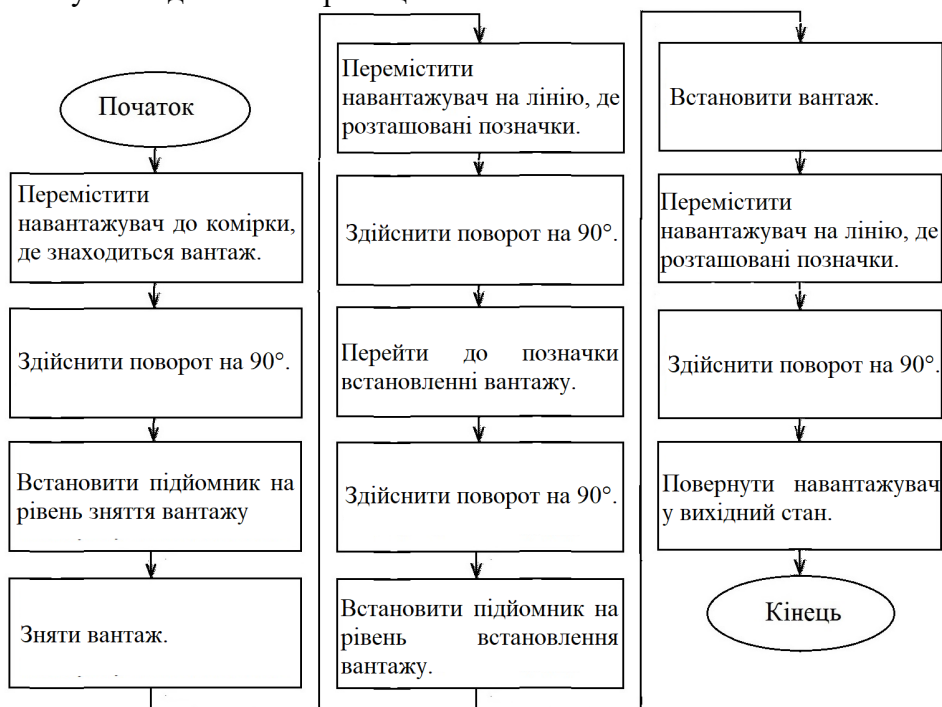


Рисунок - 12. Блок схема алгоритму, який здійснює послідовність переміщень

Для переміщення з використанням засобів визначення відстані руху використовується кусочно-ломана апроксимація маршруту для

чогго здійснюється рух по прямій та поворот на місці на визначений кут, який у даному прикладі складає 90°

Висновки

В результаті проведеного аналізу існуючих засобів переміщення складських транспортних засобів, які можна використовувати для розробки алгоритмів керування переміщенням робота на складі, були визначені найпростіші транспортні засоби, які дозволяють здійснювати переміщення вантажу на стелажних складах.

Розглянуті засоби переміщення складських транспортних засобів та механізмів зняття та встановлення вантажу.

Наведені залежності параметрів керування цих засобів, які потребуються для програмної реалізації цих алгоритмів.

Розроблені алгоритми переміщення транспортного засобу, а також керування пристроями встановлення та зняття вантажу.

Результати роботи використовувались для створення стендів при проведенні лабораторних та практичних занять.

Список використаних джерел

1. Михайлов Е. П., Кнюх О.Б., Козеровська В. О. Стенд для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем. Підйомно-транспортная техніка, 2019. №2 (61), с.60-74.

2. Інтернет ресурс. Automated guided vehicle. URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Automated_guided_vehicle&oldid=1087463869 (дата звернення 09.06.2022).

3. Інтернет ресурс. Neues Doppelkufensystem: kompakt, flexibel, kostengünstig / URL: <https://www.uni-stuttgart.de/universitaet/aktuelles/meldungen/Neues-Doppelkufensystem-kompakt-flexibel-kostenguenstig/> (дата звернення 17.06.2022).

4. Навчальний посібник з дисципліни "Мобільні роботи" для студентів за фахом 131 - Прикладна механіка - спеціалізація-Мехатроніка та промислові роботи / Укладач: Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ. – 239 с.

5. Мартыненко Ю. Г. Управление движением мобильных колёсных роботов. / Мартыненко Ю. Г. // Фундаментальная и прикладная математика, – 2005. – том 11. – № 8. – с. 29—80.

6. Турченко М.О., Кірічок О.Г., Швець М.Д., Кристочук М.Є. Проектування транспортно-складських комплексів: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2014. – 190 с.

7. Rocla. Maximizing your logistic performance. Rocla-agv-2019. URL: <https://www.rocla-agv.com/sites/default/files/sample-files/rocla-agv-2019.pdf>

8. Siegwart R. Nourbakhsh I. R. Introduction to Autonomous Mobile Robots. A Bradford Book The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England © 2004 Massachusetts Institute of Technology p. 336.

9. Проць Я.І., Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів./ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344с.

10. Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry John Wiley & Sons, Inc., 2013. — 385 с. — ISBN: 978-1-118-54936-0.

RESEARCH OF ALGORITHMS AND MEANS OF MOVEMENT FOR WAREHOUSE TRANSPORT SYSTEM

Ye. Mykhaylov, V. Lingur, D. Antykhovych, M. Nyrkov
Odessa Polytechnic National University

***Abstract.** The analysis of existing means of movement of warehouse vehicles which can be used for development of algorithms of management of movement of work in a warehouse is carried out. The simplest vehicles have been identified that allow the movement of goods in racks. Algorithms for vehicle movement, as well as control of devices for installation and removal of cargo have been developed. The dependences of the control parameters of these tools required for the software implementation of these algorithms are given. The results of the work were used to create stands for laboratory and practical classes.*

***Keywords:** vehicle, warehouse system, loaders, movement algorithms, control system, forklift.*