

УДК 621.86

DOI: 10.15276/pidtt.2.61.2019.05

Михайлов Є. П., Кнюх О. Б., Козеровська В. О.

Одеський національний політехнічний університет

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ

***Анотація.** Представлені результати розробки стенду для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем. Визначені мета і задачі, які вирішуються за допомогою стенду. Наведений склад обладнання, з якого складається стенд, та приклади задач, що дозволяють проводити дослідження як окремих мехатронних пристроїв, так і логістичних систем.*

***Ключові слова:** маніпулятори, промислові роботи, транспортні роботи, підйомно-транспортне обладнання, системи керування, складські системи.*

Вступ

Сучасні логістичні системи широко використовують обладнання на основі мехатронних пристроїв, таких як автоматизовані маніпуляційні системи, транспортні роботи, автоматично керовані транспортні засоби, транспортно-розподільне обладнання, засоби ідентифікації та визначення параметрів об'єктів, тощо.

Для дослідження мехатронних систем на основі мехатронних пристроїв часто використовуються стенди, що складаються з діючих макетів, і дозволяють створити моделі мехатронних систем з метою проведення навчання та дослідження таких систем [1-5].

Існують різні підходи до створення таких стендів. Так, наприклад, фірма Festo Didactic має стенди, що по своїм характеристикам близькі до промислового обладнання [1].

Фірма fischertechnik має великий набір різних стендів, що створюються з деталей у вигляді конструктора, і можуть об'єднуватись у досить складні виробничі та логістичні системи [3].

Основним недоліком таких систем є досить велика вартість обладнання, тому була поставлена задача провести аналіз існуючих засобів дослідження логістичних систем і в результаті цього аналізу визначити мету та задачі, які вирішують стенди для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем, обрати складові компоненти та елементну базу для створення таких систем.

1. Аналіз існуючих засобів дослідження логістичних систем

Був проведений аналіз існуючих засобів для навчання та дослідження логістичних систем на основі мехатронних пристроїв для визначення мети та задачі, які вирішують стенди для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем.

Фірма fischertechnik поставляє компактні технічні моделі на основі набору деталей, які дозволяють створити великий набір транспортно-розподільного обладнання, маніпуляторів та різних моделей виробничих ланок [3].

Розглянемо детальніше деякі з таких моделей. На рис. 1 наведені різні моделі транспортних систем, а саме, компактна модель складальної лінії, що складається з конвеєру та набору датчиків для визначення положення деталі на конвеєрі (рис. 1, а), модель конвеєра з двома позиціями обробки деталей (рис. 1, б) та ділянка з поворотним столом (рис. 1, в).

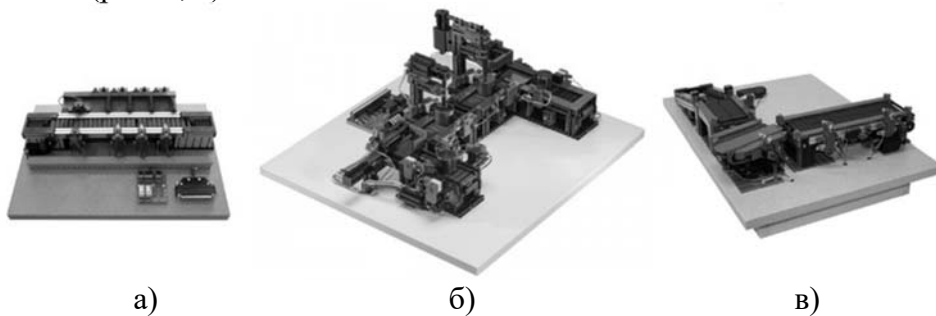


Рисунок - 1. Моделі транспортних систем

На рис. 2 наведені різні моделі маніпуляторів. Маніпулятори з механічним (рис. 2, а) та вакуумним захоплювачем (рис. 2, б), що працюють в циліндричній системі координат, а також 5-осьового маніпулятора (рис. 2, в).

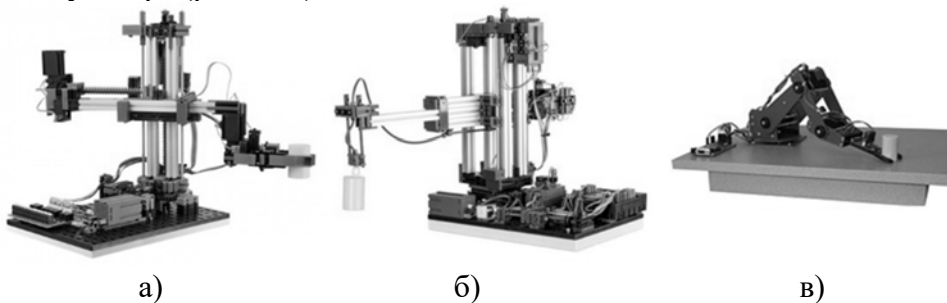


Рисунок - 2. Моделі маніпуляторів

На рис. 3 наведені моделі складських систем з штабелером.



Рисунок - 3. Моделі складських систем

Крім того є велика кількість різних виробничих ділянок використанням обладнання, що використовується у вказаних стендах.

Вказане обладнання включає різні датчики та виконавчі пристрої з напругою живлення 9В або 24В. Це дає можливість використовувати для керування контролер фірми fischertechnik TXT Controller, або промислові системи керування, наприклад, програмований логічний контролер фірми SIEMENS SIMATIC S7-1200, що дозволяє проводити дослідження як окремих логістичних пристроїв, так комплексних транспортно-розподільних та складських систем в умовах близьких до реальних.

Фірма Festo Didactic поставляє широкий набір навчальних стендів, які представляють собою як комплексні виробничі системи, наприклад, ProLog Factory (рис. 4) [1] та навчальні промислові системи CP Lab 400 Complete Systems [2] (рис.5), так і окремі компоненти таких систем, а саме, транспортні засоби, стаціонарні (рис. 6, а) та мобільні роботи **Robotino**[®] з різними захоплюючими пристроями та засобами локальної навігації (рис.6, б), тощо. Для керування в основному використовуються промислові системи керування.

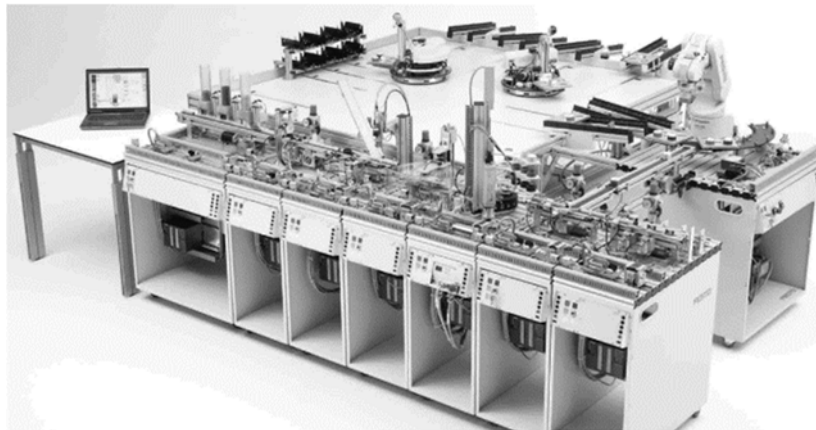


Рисунок - 4. Діючий макет комплексної виробничої системи ProLog Factory



Рисунок - 5. Навчальна промислова система CP Lab 400 Complete Systems



Рисунок - 6. Стационарні та мобільні роботи з різними захоплюючими пристроями

На рис. 7 наведено навчальне обладнання фірми Qingdao Micron Lab Trading Co. [4], а саме, автоматична виробнича лінія МК-МЕТ011 Automatic Production Line Training (рис. 7, а), мала логістична виробнича лінія МК-МЕТ001 Small Logistics Production Line Training Device (рис. 7, б), модель маніпулятора МК-МЕТ006 Manipulator Model (рис. 7, в).

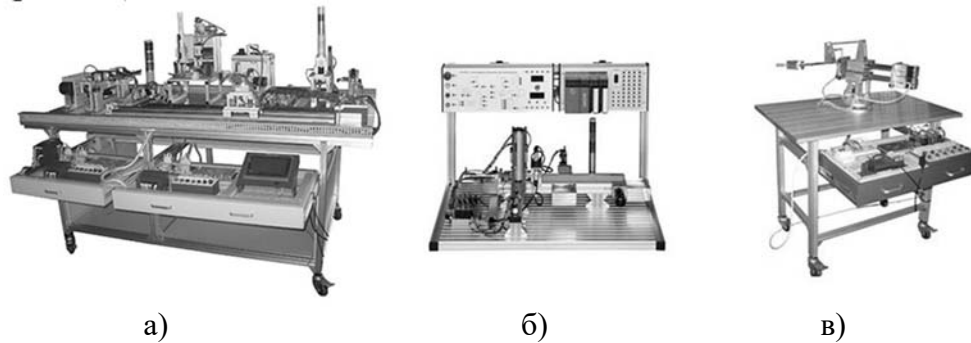


Рисунок - 7. Навчальне обладнання фірми Qingdao Micron Lab Trading Co

Навчання по використанню мехатронних систем проводить також фірма Amtek Company [5], навчальний стенд якої наведений на рис. 8.

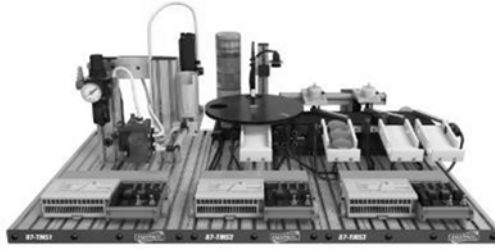


Рисунок - 8. Навчальний стенд фірми Amtek Company

Вказані навчальні системи дають можливість проводити навчання та дослідження як окремих мехатронних пристроїв, так і різних варіантів промислових та логістичних систем, а саме, вивчати та проводити дослідження різних мехатронних пристроїв та логістичних систем на їх основі, таких як транспортно-розподільне обладнання, пристрої, що здійснюють навантаження та розвантаження різних об'єктів, стаціонарні та транспортні роботи, засоби навігації транспортних засобів, засоби ідентифікації та визначення параметрів об'єктів, тощо.

Основним недоліком таких систем є висока вартість, яка значно зростає у разі поширення функціональних можливостей.

Тому була поставлена задача створити стенд для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем, що з мінімальними затратами може забезпечити можливість навчання та дослідження широкого кола задач, які можуть вирішувати мехатронні пристрої у складі логістичних систем. Стенд повинен складатися з сумісних модулів, що дає можливість оперативно змінювати структуру логістичної системи в залежності від задач дослідження.

2. Основні задачі дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем

При створенні стенда були визначені задачі, що повинні вирішуватися у ході навчання та дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем. Важливим моментом є також вибір елементної бази для складових компонент, від якої в значній мірі залежать функціональні можливості та вартість обладнання.

Вибір обладнання для стенда визначався тим, щоб на його основі можна було проводити дослідження окремих компонент мехатронних пристроїв, а саме, приводів, інформаційних систем, систем керування та окремих механічних компонент.

Основною системою керування була обрана відкрита програмована апаратна платформа Arduino, яка має у своєму складі велику кількість модулів, з яких можна створити різні мехатронні

пристрої. Ці модулі включають контролери, різні виконавчі пристрої (драйвери для двигунів постійного струму та крокових двигунів, сервоприводи), інформаційні пристрої (датчики швидкості, наявності та визначення відстані до об'єктів, вимірювання ваги, орієнтації), засоби бездротового зв'язку та дистанційного керування. Важливою відзнакою цієї платформи є досить низька вартість обладнання та вільний доступ до програмного забезпечення, яке має мову програмування, що заснована на мові C++, та велику кількість бібліотек, що значно спрощують процес створення програм.

У деяких випадках використовувався конструктор для створення програмованих роботів MINDSTORMS NXT, мова програмування якого має графічне представлення об'єктів з можливістю налагодження за допомогою встановлення відповідних параметрів, аналогічно тому, як це здійснюють мови програмування промислових роботів.

Виходячи з цього були визначені такі основні задачі дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем:

- дослідження виконавчих пристроїв на основі електродвигунів, включаючи двигуни постійного струму, крокові двигуни, сервоприводи;
- дослідження інформаційних систем, включаючи датчики внутрішньої інформації, а саме, датчики положення, швидкості, переміщення, датчики визначення наявності об'єктів та відстані до них, датчики локальної навігації;
- дослідження алгоритмів керування мехатронними пристроями;
- дослідження засобів переміщення та навігації мобільних роботів;
- дослідження алгоритмів взаємодії різних мехатронних пристроїв у складі логістичних систем, включаючи транспортно-розподільні та складські системи.

Реалізація цих задач повинна здійснюватися на основі сумісних мехатронних модулів у вигляді конвеєрів, поворотних столів, маніпуляторів, мобільних роботів, навантажувачів та додаткового обладнання, такого як стелажі, ваговимірювальні пристрої, тощо.

3. Складові компоненти діючого стенду

Окремі компоненти діючого стенду обиралися виходячи з задач дослідження і виготовлялися як з готових робототехнічних конструкторів, так і за допомогою 3D принтера.

На рис. 9 наведені макети стаціонарних роботів з плоско-паралельним переміщенням захоплювача SNARM 4dof [6] (рис. 9,а), з шістьма ступенями рухомості (рис. 9.б), а також конвеєру з двома напрямками руху та керуванням швидкості переміщення (рис. 9.в). Стаціонарні роботи використовують для переміщення окремих ланок

сервоприводи, які здійснюють переміщення на вказаний кут з вказаною швидкістю.



Рисунок - 9. Стационарі роботи та конвеєр

На рис. 10 наведені макети мобільних роботів з диференціальним приводом (рис. 10,а), з приводом типу трицикл (рис. 10,б), з колесами Mecanum (рис. 10,в), які можуть використовуватись як транспортні засоби, так і мобільні роботи з додатковим виробничим обладнанням, наприклад, з маніпуляторами (рис 11).

Мобільні роботи мають датчики, що дозволяють визначати шлях переміщення, здійснювати переміщення вздовж смуги та виявляти наявність перешкод та відстань до них.

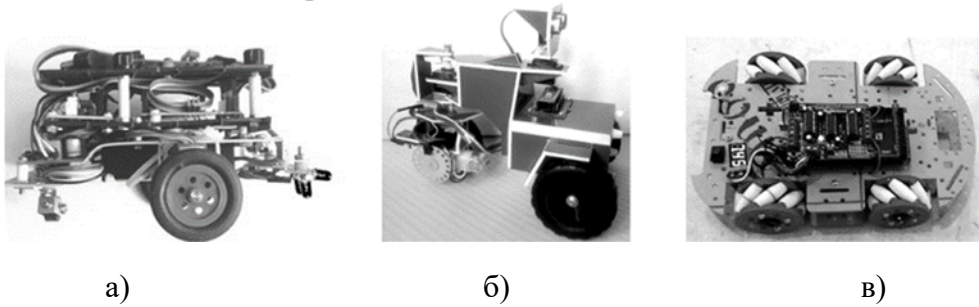


Рисунок - 10. Макети мобільних роботів

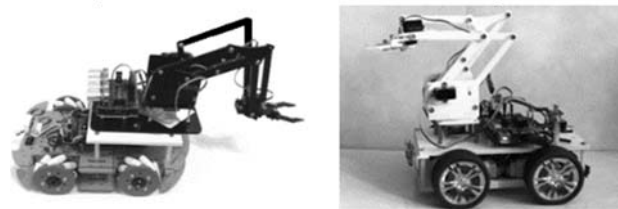


Рисунок - 11. Мобільні роботи з маніпуляторами

На рис. 12 наведені макети робота-маніпулятора (рис. 12,а) та навантажувача (рис. 12,б) на основі конструктора MINDSTORMS NXT.

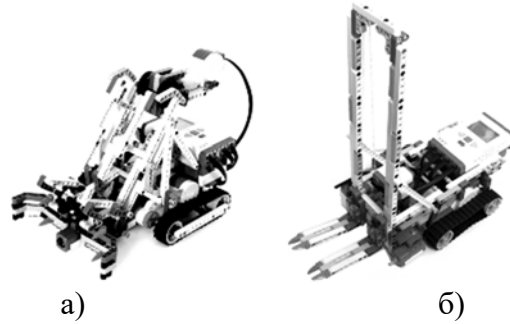


Рисунок - 12. Макети робота-маніпулятора та навантажувача

Наведені компоненти дають можливість створити різні варіанти стенду для дослідження логістичних систем на основі мехатронних пристроїв., наприклад, стенд у вигляді транспортно-складської системи, що наведений на рис. 13.

Стенд складається з набору конвеєрів, маніпуляторів, що здійснюють перевантаження об'єктів, транспортних роботів, які можуть переміщуватись по заданому маршруту, навантажувачів, які здійснюють встановлення та зняття палет з вантажем на стелаж.

При цьому можна розглядати як задачі, що вирішують окремі мехатронні пристрої, так і задачі оптимізації переміщення вантажу на виробництві та на складі.

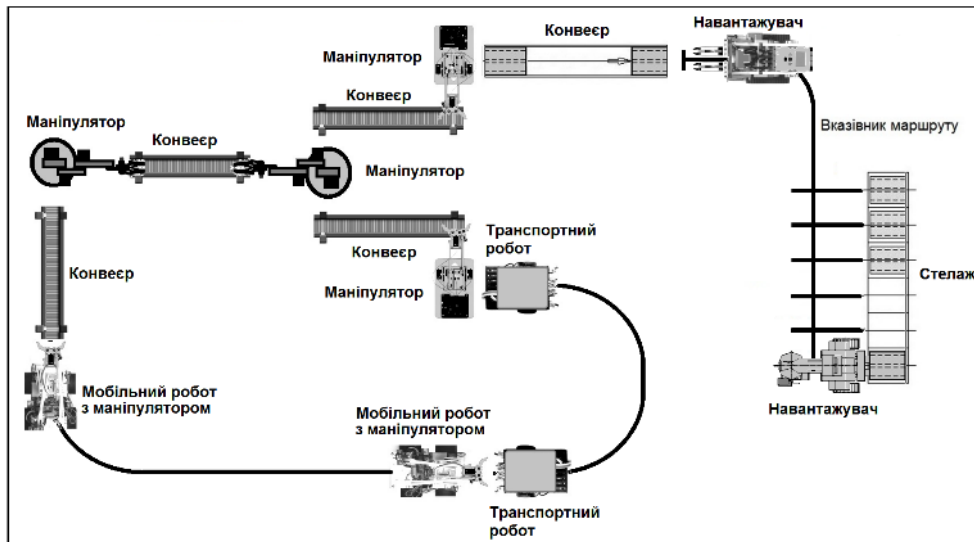


Рисунок - 13. Приклад стенду для дослідження логістичних систем

В рамках студентських гуртків здійснюються розробки нових мехатронних модулів з метою поповнення складу стенда.

4. Приклади задач для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем

Були розроблені завдання для дослідження як окремих компонент, так і самих мехатронних пристроїв, а також засобів на їх основі.

Так був розглянутий алгоритм переміщення мобільного робота вздовж контрастного вказівника маршруту (рис. 14) з використанням оптичних датчиків (рис. 15).

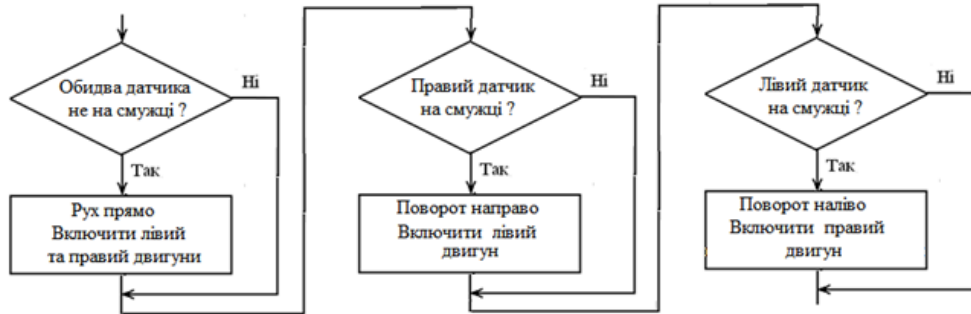


Рисунок - 14. Алгоритм переміщення мобільного робота

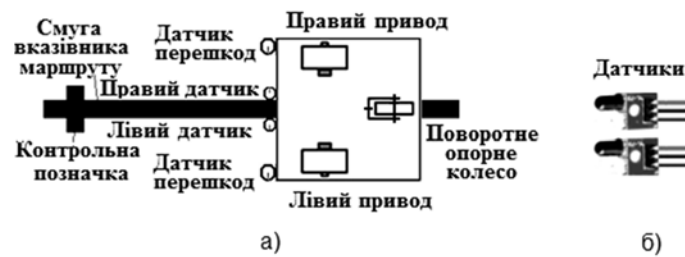


Рисунок - 15. Принцип переміщення мобільного робота вздовж контрастного вказівника маршруту (а) за допомогою оптичних датчиків (б)

Задачею дослідження тут може бути визначення зв'язку швидкості переміщення та радіусу повороту візка.

На рис. 16 показано, як за допомогою вказівника маршруту можна здійснити встановлення вантажу на стелаж у складі. Задачею дослідження тут може бути оптимізація маршруту переміщення та оптимальне розподілення вантажу.

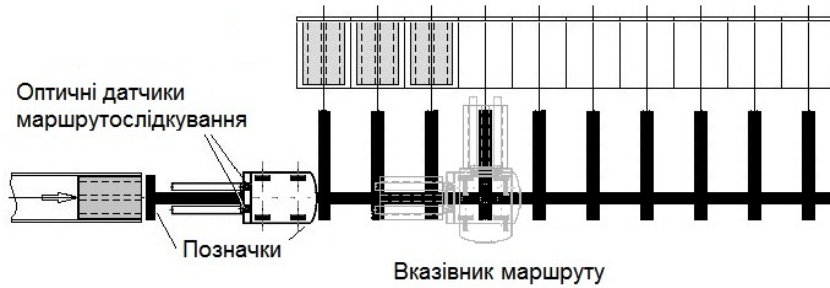


Рисунок - 16. Встановлення вантажу на стелаж у складі

Для встановлення вантажу на різні рівні стелажа можна застосовувати датчики переміщення, наприклад, одометричні датчики, за допомогою яких здійснюється визначення переміщення як самого візка, так і вилкового захоплюючого пристрою (рис. 17).

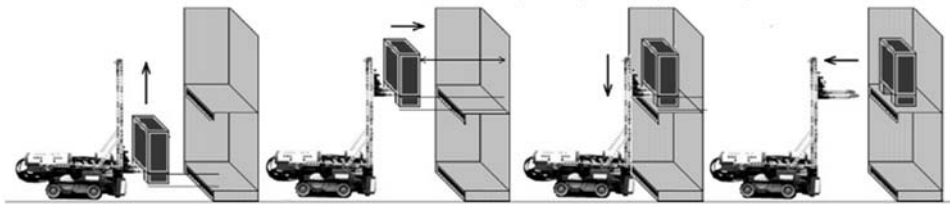


Рисунок - 17. Встановлення вантажу на різні рівні

Задачею дослідження тут може бути визначення точності позиціонування механізму підйому.

Для переміщення об'єктів використовується маніпулятор SNARM 4dof [1]. На рис. 18 наведений зовнішній вигляд маніпулятора (а) та його кінематична схема (б).

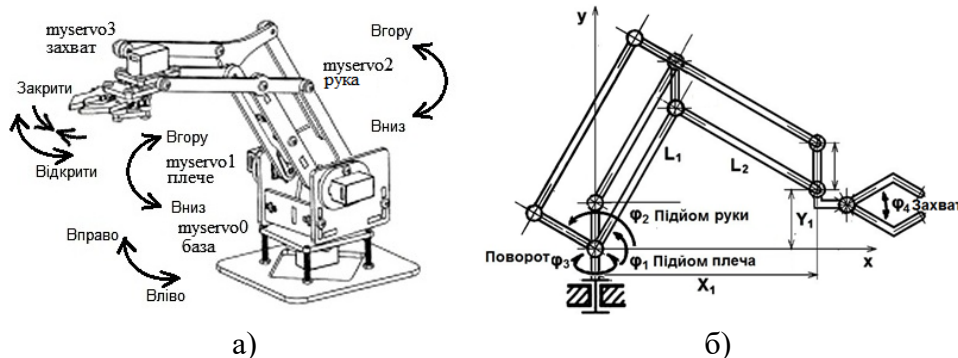


Рисунок - 18. Маніпулятор SNARM 4dof

Для переміщення кінематичних пар використовуються сервоприводи MG-90S, що забезпечують поворот валу від 0 до 180°.

Для проведення дослідження роботи маніпулятора був розроблений макет що складається з маніпулятора SNARM 4dof, контролера Arduino Nano, та пульта керування в ручному режимі у

вигляді 4 потенціометрів POT0, POT1, POT2, POT3, що здійснюють відповідне переміщення сервоприводів myservo0, myservo1, myservo2, myservo3.

Схема підключення маніпулятора до контролера Arduino Nano наведена на рис. 19. Перемикач з трьома положеннями визначає режим роботи, а саме switch1- ручний, switch2 – автоматичний, switch 3 – стан спокою. Інфрачервоний датчик IRsens визначає наявність об'єкту, який треба перемістити.

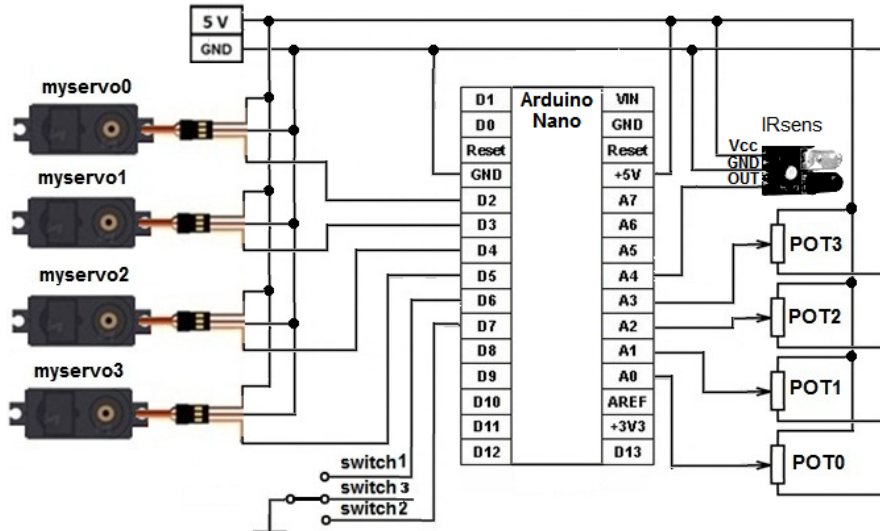


Рисунок - 19. Схема підключення маніпулятора до контролера Arduino Nano

Для спрощення алгоритму та програми керування сервоприводів на основі контролерів Arduino використовується бібліотека VarSpeedServo.master [7], що дозволяє здійснити переміщення до вказаного кута з визначеною швидкістю.

Бібліотека VarSpeedServo-master.h Arduino дозволяє використовувати до 8 сервоприводів, встановлювати швидкість переміщення та здійснювати очікування, поки робота сервоприводу не буде завершена.

Наявність ручного керування дозволяє зробити дослідження різних режимів навчання робота, оскільки при керуванні положення окремих кінематичних пар (кут повороту) можна вивести на екран комп'ютера, або запам'ятати з метою подальшого програмування переміщення маніпулятора по послідовності положень.

Оскільки маніпулятор здійснює плоско-паралельне переміщення захвату, то аналітичне програмування такого маніпулятора можна здійснити, виходячи з спрощеної кінематичної схеми (рис. 20).

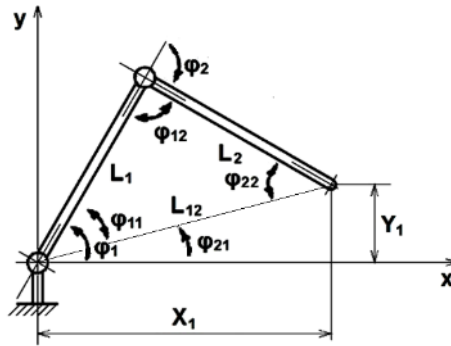


Рисунок – 20. Спрощена кінематична схема маніпулятора

Маніпулятор має дві ланки L_1 та L_2 , а також дві кінематичні пари обертального типу, що здатні працювати в одній площині. Переміщення кінематичних пар здійснюється шляхом повороту на кути φ_1 та φ_2 .

Переміщення у тривимірному просторі здійснюється за рахунок обертання маніпулятора на кут φ_3 відносно осі y , тому розглянемо переміщення маніпулятора в одній площині.

Перша ланка L_1 закріплена на основі і обертається на кут φ_1 .

Друга ланка L_2 , кріпиться на кінці першої ланки і обертається щодо неї на кут φ_2 .

Робочий орган маніпулятора знаходиться на кінці другої ланки.

Треба знайти такі кути φ_1 і φ_2 , які дозволять маніпулятору із ланками L_1 і L_2 помістити робочий орган в задану точку (x, y) , що можна зробити за допомогою зворотної задачі кінематики.

Виходячи з того, що $L_{12}^2 = x^2 + y^2$, $\varphi_1 = \varphi_{11} + \varphi_{21}$, та використовуючи теорему косинусів, знаходимо:

$$\varphi_1 = \arccos(x / L_{12}) + \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2),$$

та

$$\varphi_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2).$$

Шляхом повороту кінематичних пар згідно отриманих значень φ_1 і φ_2 здійснимо переміщення робочого органу в точку (x, y) .

Використовуючи цей макет можна провести дослідження точності позиціонування робочого органу маніпулятора, що полягає у відхиленні фактичного положення від заданої позиції, та визначається параметрами механічної частини маніпулятора та приводів, наприклад, помилкою округлення, оскільки сервоприводи встановлюють кут обертання з точністю 1° .

Аналогічно здійснюється дослідження робота з шістьма ступенями рухомості.

На рис. 21 показаний приклад логістичної системи, яка здійснює розподілення вантажу з одного конвеєра на два інші в залежності від властивостей об'єкта, наприклад, ваги або кольору.

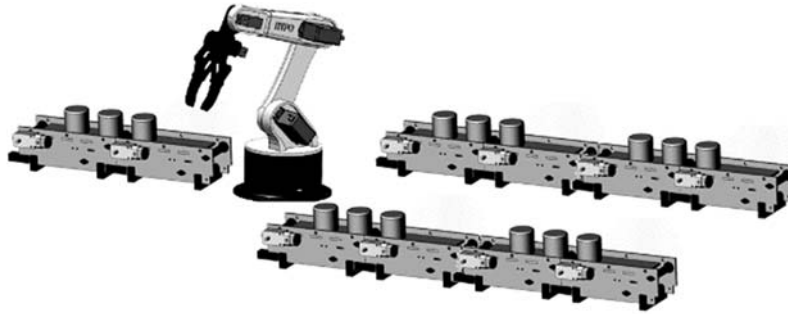


Рисунок – 21. Система розподілення вантажу

Макети мобільних роботів дають можливість провести дослідження засобів локальної навігації та переміщення візків з диференціальним приводом, з приводом типу трицикл, а також з колесами Mecanum. Ці питання детально розглянуті в роботах [8-10],

Висновки

В результаті проведеного аналізу існуючих систем для навчання та дослідження окремих мехатронних пристроїв і різних варіантів промислових та логістичних систем поставлена задача створити стенд для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем, який з мінімальними затратами дає можливість провести дослідження широкого кола задач, які можуть вирішувати мехатронні пристрої у складі логістичних систем.

Розроблений стенд представляє собою модульну структуру, що складається з окремих мехатронних та додаткових компонент, до яких входять:

маніпулятори з чотирма ступенями рухомості та плоско-паралельним переміщенням захоплювача, а також маніпулятори з шістьма ступенями рухомості, які дають можливість проводити дослідження точності позиціонування робочих органів маніпуляторів з сервоприводами;

конвеєри з двома напрямками руху та керуванням швидкості переміщення, що дають можливість проводити дослідження транспортних систем;

мобільні роботи з різними засобами переміщення та навігаційними системами, що дають можливість провести дослідження точності переміщення;

стелажі, засоби визначення параметрів об'єктів (колір, вага).

Інформаційні системи та виконавчі пристрої, що використовуються в модулях, дають можливість проводити дослідження різних мехатронних пристроїв, з яких складаються логістичні системи.

Стенди на основі цих модулів дозволяють провести дослідження алгоритмів керування мехатронними пристроями з метою виявлення оптимальних режимів роботи, наприклад, вибору прискорення та швидкості переміщення різних вантажів, а також алгоритмів взаємодії різних мехатронних пристроїв у складі логістичних систем, включаючи транспортно-розподільні та складські системи, наприклад, оптимізації маршруту переміщення та розподілення вантажу.

Список використаної літератури

1. Mechatronik und Fabrikautomation. Lernsysteme und Services für die Aus- und Weiterbildung. 56811 de © 2017-04 Festo Didactic SE. URL: https://www.festo-didactic.com/didactic/Demos/PG_FactoryAutomation_de/files/assets/common/downloads/publication.pdf (дата звернення: 12.06.2019).
2. Learning Systems for Industry 4.0. CP Lab 400 Complete Systems. FESTO. URL: www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/cp_lab_400_en.pdf (дата звернення: 14.06.2019).
3. Компактные технические модели из деталей fischertechnik. URL: <http://расрас.ru/category/kompaktnye-modeli/> (дата звернення: 12.06.2019).
4. Qingdao Micron Lab Trading Co. URL: <http://www.micronlab.cn/About/20170614-1.html> (дата звернення: 10.06.2019).
5. Amtek Company. Mechatronics Lab Training Equipment. URL: <http://www.amtekcompany.com/about-amtek-company/> (дата звернення: 10.06.2019).
6. 4DOF ARM acrylic robot arm install guide. URL: <https://www.small-hammer.com/docs/4dofarm/> (дата звернення: 10.06.2019).
7. Arduino library for servos that extends the standard servo.h library with the ability to set speed, and wait for position to complete. URL: <https://github.com/netlabtoolkit/VarSpeedServo> (дата звернення: 10.06.2019).
8. Михайлов Є.П., Крись М.В. Локальна навігація мобільних роботів з використанням засобів одометрії. *Підйомно-транспортна техніка*. 2015. № 4 С. 21-30.
9. Михайлов Є.П., Скринник А.І. Дослідження засобів локальної навігації мобільних роботів. *Підйомно-транспортна техніка*. 2017. № 3. С. 55-61

10. Михайлов Є.П., Скринник А.І. Дослідження засобів переміщення мобільних роботів. *Підйомно-транспортна техніка*. 2017. № 4. С. 67-72

STAND FOR RESEARCH OF MECHATRONIC DEVICES OF LOGISTICS SYSTEMS

Mykhaylov Ye., Kniukh O., Kozerovska V.
Odessa National Polytechnic University

Abstract. The results of the development of the stand for the study of mechatronic devices of logistic systems are presented. The analysis of existing facilities for training and research of logistic systems based on mechatronic devices of various companies has been carried out, the purpose and tasks that solve such stands have been determined. It is shown that the stand should consist of compatible modules, which allows you to quickly change the structure of the logistics system depending on the objectives of the study. To implement the control functions, the Arduino open programmable hardware platform was chosen, which incorporates a large number of modules from which you can create various mechatronic devices. The difference of this platform is the low cost of equipment and free access to the software. The composition of the equipment of which the stand consists, including conveyors, stationary and mobile works with various means of movement and navigation, forklift loaders, racks and other equipment, allowing to arrange various logistic systems. Examples of tasks are given that allow conducting research on both individual mechatronic devices and logistics systems, namely, determining the positioning accuracy when moving the manipulator body and trolley of mobile robots, research on the effectiveness of using various navigation tools for positional movement of mobile robots, developing control algorithms for individual mechatronic devices. devices and various logistic systems. The scheme of connecting the control system to the executive and information devices. The possibilities of studying the training modes and an example of determining the parameters for analytical programming of robots are shown. An example of a stand for the study of logistics systems.

Keywords: manipulators, industrial works, mobile works, transport works, loaders, lifting and transport equipment, control systems, navigation systems, positioning accuracy, warehouse systems, logistic systems.