

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2020-40-06

УДК 004.896

Здолбівська Ніна Василівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-1345-3581>

Костючко Сергій Миколайович, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-1262-6268>

Ковальчук Павло Євгенович, студент

Пашук Владислав Юрійович, студент

Луцький національний технічний університет

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ

Здолбівська Н.В., Костючко С.М., Ковальчук П.Є., Пашук В.Ю. Система керування роботом-маніпулятором.

У статті описано реалізація моделі систем керування роботом-маніпулятором на базі Arduino та LEGO Mindstorms EV3 для навчальних цілей або невеликих виробничих операцій, яка є істотно вигіднішою в комерційному плані в порівнянні з існуючими промисловими аналогами. Розв'язано завдання проектування та складання механічних частин роботизованої системи, кінематики рухів вперед та назад, щоб контролювати положення та захват об'єкта, сортування за кольором. Розроблено програмне забезпечення для керування системою робота-маніпулятора.

Ключові слова: системи керування, робот-маніпулятор, проектування, сортування, Arduino, LEGO Mindstorms EV3, Python.

Zdolbitska N.V., Kostyuchko S.M., Kovalchuk P.E., Pashuk V.Yu. Система управління роботом-маніпулятором. В статье описано реализация модели систем управления роботом-манипулятором на базе Arduino и LEGO Mindstorms EV3 для учебных целей или небольших производственных операций, которая существенно выгоднее в коммерческом плане по сравнению с существующими промышленными аналогами. Решена задача проектирования и сборки механических частей роботизированной системы, кинематики движений вперед и назад, чтобы контролировать положение и захват объекта, сортировки по цвету. Разработано программное обеспечение для управления системой робота-манипулятора.

Ключевые слова: системы управления, работ-манипулятор, проектирование, сортировка, Arduino, LEGO Mindstorms EV3, Python.

Zdolbitska N.V., Kostyuchko S.M., Kovalchuk P.E., Pashuk V.Yu. Manipulator robot control system. The article describes the implementation of a model of control systems for a robot manipulator based on Arduino and LEGO Mindstorms EV3 for educational purposes or small manufacturing operations, which is significantly more profitable in commercial terms compared to existing industrial counterparts. Solved the problem of designing and assembling the mechanical parts of a robotic system, kinematics of forward and backward movements to control the position and capture the object, sorting by color. The software for controlling the robotic arm system has been developed.

Keywords: control systems, robot manipulator, design, sorting, Arduino, LEGO Mindstorms EV3, Python.

Постановка проблеми.

У даний час пріоритетним напрямком розвитку промисловості є автоматизація виробництва. Це спрощує процес керування, а також може замінити деякі процеси на виробництві, що в свою чергу сприяє значному зростанню його ефективності. Постійно зростає необхідність вдосконалення систем управління роботами-маніпуляторами. Зокрема такі маніпулятори використовуються у різних галузях: роботи-маніпулятори, що працюють з радіоактивними чи токсичними матеріалами, при виробництві мікропроцесорів, маніпулятори для складання різних деталей, крани-маніпулятори для установки, сортування, пакування та палетування, зварювальні маніпулятори, різні види різання, маніпулятори для пресування і формування елементів конструкції, в ливарному виробництві, укладка кабелю; для фарбування, нанесення герметиків та клеїв, та інші. Також використання роботів-маніпуляторів для діагностики та тестування обладнання, котрі виконуються з високою надійністю, швидкістю і точністю.

Відбувається значне зростання якості продукції, що виробляється, за рахунок підвищення точності виконання технологічних операцій, з'являється можливість виключити людський фактор, шляхом зниження відсотку браку і зменшення певних невикористаних витрат, включаючи оплату понаднормових робіт і простоїв, і цим самим знизити собівартість продукції, можливість скорочення кількості робітників, що задіяні в різноманітних сферах виробництва, зменшити вплив шкідливих факторів на персонал підприємств. Основним пріоритетом автоматизації підприємств є впровадження роботизованих систем, що складаються з механічних маніпуляторів. Постійно з'являється все більше задач і процесів для автоматизації яких необхідно керування мікропроцесорними системами. Найпростішою, ефективною, істотно більш вигідною в комерційному плані в порівнянні

з існуючими промисловими аналогами є демонстрація можливості реалізації моделі керуванням маніпулятором на базі Arduino [2,8].

У даний час пріоритетним напрямком розвитку є мехатроніка, як область науки і техніки, що базується на поєднанні механічних, електротехнічних і комп'ютерних компонент. Це в свою чергу забезпечує проектування і виготовлення нових якісних пристроїв з інтелектуальним керуванням для функціональних рухів [4,5,6].

Одним з напрямків розвитку сучасних технологій – це створення автономних роботів, поведінка яких повинна слідувати принципам, на яких ґрунтується поведінка живих організмів. Математичне моделювання поєднується з біонікою і штучним інтелектом. Однак, робот-маніпулятор дещо відрізняється від звичайних математичних моделей поведінки тварин [7].

В значній мірі сучасні промислові роботизовані пристрої – це маніпулятори для переміщення об'єктів в просторі, закріплені на основі, що призначені для виконання однотипної роботи, що приводить до збільшення продуктивності праці.

Великого значення набуло дослідження системи дистанційного керування рухом ланок робота-маніпулятора, що базується на основі персонального комп'ютера і контролера управління рухом робочих вузлів робота-маніпулятора. Досліджено технологію роботи робота і здійснено розробку програмного і технічного забезпечення для системи дистанційного керування роботом-маніпулятором [3].

У даний час найвідомішим виробником роботів є iRobot Corporation, що спеціалізуються на проектуванні та випуску робототехнічних систем. Роботів також виробляють такі компанії Sony, Yaskawa Motoman, ABB, Honda, KUKA, World Demanded Electronic та інші.

У власних розробках ці компанії використовують закриті рішення, що значно обмежує можливості з боку кінцевого користувача, хоч такий підхід дозволяє виробнику гарантувати працездатність робота-маніпулятора [1].

Викладення основного матеріалу і обґрунтування отриманих результатів.

Проектування будь-якого технічного об'єкта – це комплекс процесів проектування, створення, удосконалення форми цього об'єкта, розробка технічної пропозиції та технічного завдання, що забезпечують необхідні потреби і реалізацію у вигляді проектною документації.

Розглянемо стадії та етапи проектування робота-маніпулятора.

1. Конструкторське проектування, що передбачає розробку механічної частини робота-маніпулятора. Необхідно визначитися з вибором матеріалу для виготовлення деталей, зняття праці проектувальника.

2. Засоби проектування. Потрібно вибрати елементи системи керування: мікроконтролер, необхідне програмне забезпечення.

3. Спосіб керування роботом-маніпулятором: ручне (копіююче); з автоматичним програмним управлінням.

Програмне керування відтворює рухові і розумові функції людини при виконанні виробничих процесів, або для обслуговування технологічних процесів та автоматизації робіт на підприємстві.

Програмне керування – один з найпростіших способів системи керування, у цьому випадку всі дії жорстко фіксовані і повторюються з певною періодичністю.

Переважає більшість сучасних роботів-маніпуляторів програмується за допомогою мікроконтролерів. Контролер – це пристрій управління і контролю процесами комп'ютерної системи, в яку він вбудований. Мікроконтролер перетворює код програми в керуючі сигнали і передає на зовнішні пристрої. Потім із зовнішніх пристроїв він отримує дані про дії робота, це дає змогу самостійно контролювати деякі дії системи. Спосіб керування робота-маніпулятора безпосередньо залежить від його призначення.

На даний час використовується багато методів програмування роботів на базі LEGO® Mindstorms EV3, Arduino, роботами на базі ARM7 та ARM9 та іншими.

Програмування роботів можливе з використанням мов Arduino C / C++ та Java та інших. Для цього необхідно описати завдання робота таким чином, щоб робот міг їх обробляти за допомогою давачів та здійснювати відповідні рухи.

Роботи-маніпулятори з адаптивною системою управління оснащені давачами. Сигнали, що передаються давачами, аналізуються і залежно від результатів приймається рішення про подальші дії, перехід до наступної дії тощо.

Поширеними є також дистанційні системи керування. Зручнішим та ефективнішим є віддалене управління роботом-маніпулятором з використанням Wi-Fi або Bluetooth на виробництві з © Здолбівка Н.В., Костючко С.М., Ковальчук П.Є., Пашук В.Ю.

шкідливими умовами праці для працівників, де таке управління буде найбільш прийнятне. Наприклад, робот для розмінування з дистанційним керуванням.

Підсилити системи дистанційного керування рухом ланок робота-маніпулятора можна з допомогою веб-камер, слідкуючи за їх роботою у режимі реального часу через online-пристрої доступу або мобільні ідентифікатори [9].

Маніпулятори складаються з рухомих ланок двох видів:

- ланки, що забезпечують рух у просторі;
- ланки, що забезпечують поворот.

Складовою частиною роботів-маніпуляторів, хоч і необов'язковою, є захоплювальні пристрої. Часто використовуються також захоплювачі з пневматичним присмоктуванням для зутримання плоских предметів. Іноді для захоплення множини однотипних деталей у промисловості застосовують спеціальні конструкції. Є можливість використання робочих інструментів замість захоплювальних пристроїв в маніпуляторах.

Будь-який робот-маніпулятор складається з кількох вузлів або ланок, що приводять у рух відповідні механізми. Для переміщення складових ланок роботів-маніпуляторів найчастіше застосовують крокові двигуни або сервоприводи різної потужності, в залежності від виду призначення робота.

Одними з основних характеристик працездатності роботів-маніпуляторів є: маневреність, надійність захвату, швидкість руху, число ступенів свободи, енергетичні показники, вантажопідйомність, міцність деталей захватних пристроїв, недопустимість руйнування або пошкодження об'єктів, легкість і швидкість заміни елементів захватних пристроїв, необхідність розрахунку автоматичної зміни зусиль утримання об'єкта в залежності від його розмірів і маси.

Пристрої захвату в маніпуляторів служать для захвату і утримання в необхідному конкретному положенні об'єктів маніпулювання, що можуть мати різну масу, форму, габаритні розміри і характеризуватися різними фізичними властивостями. Прикладами захватних пристроїв можуть бути монтажні інструменти (ключі, тиски, сверла та ін.)

На даному етапі розвитку суспільства розрізняють три способи програмування роботів-маніпуляторів: написання програм; методом навчання; самонавчальні.

Одним з найперспективніших напрямів кар'єрного розвитку на даний час є програмування. Технологічний розвиток швидкими темпами упевнено крокує в напрямку розробки кіберфізичних систем усіх сфер виробництва та споживання.

Поєднуючи сучасні методи в навчанні та інтерактивні роботи відкриваються нові можливості вивчати програмування, застосовуючи їх до реальних задач сучасного світу, знайомлячись із технологіями, які нас оточують.

Для прикладу, було побудовано відносно недорого та просту систему, яка має 4 ступені свободи, завдяки цьому ця конструкцію є більш доступною. Цим роботом-маніпулятором можна керувати в ручному режимі за допомогою джойстиків або програмувати для роботи в повністю автоматичному режимі.

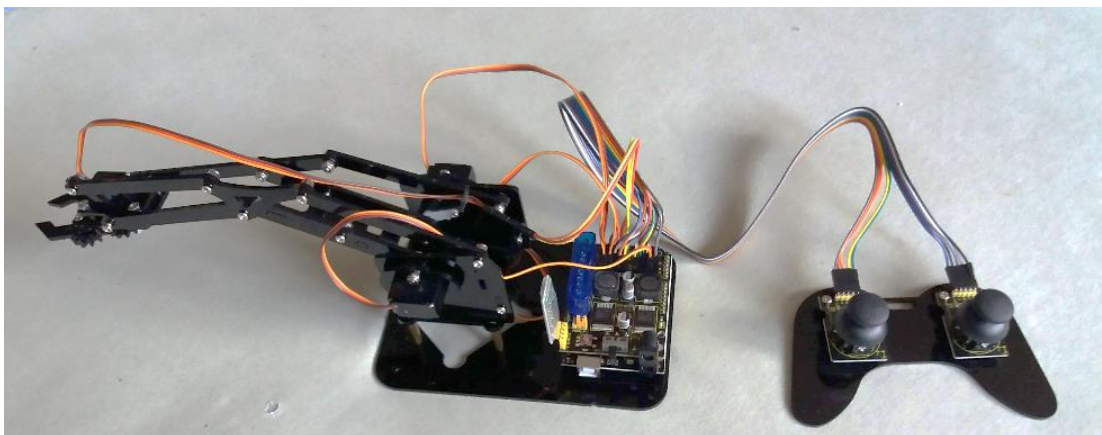


Рис. 1. Вигляд конструкції робота-маніпулятора з підключеними джойстиками керування

Дана система керування роботом-маніпулятором розроблена з використанням наступних кроків проектування необхідної системи.

Крок 1: збір необхідного обладнання, включаючи необхідні матеріали та інструменти.

Крок 2: підключення обладнання.

Крок 3: програмування управління робота-маніпулятором.

Алгоритм роботи з маніпулятором реалізовано у вигляді скетчу для платформи Arduino. Робота з маніпулятором передбачає переміщення його захвату у трьохвимірному середовищі. Керування здійснюється з допомогою двох джойстиків. З їх допомогою здійснюються повороти по трьох осях, захват/відпускання об'єкта за допомогою імпровізованої клешні-захвату, а також можливість програмування до 10-ти (чи більше, обмежено програмним кодом) операцій-переміщень, які будуть циклічно повторюватися маніпулятором, доки цикл не буде перерваний оператором.

Основний робочий цикл програми містить повторні ініціалізації необхідних портів та змінних, опитування джойстиків. При натисненні правого джойстика (як кнопки), здійснюється зчитування положення усіх чотирьох сервоприводів та збереження зчитаної інформації у масивах. При натисненні лівого джойстика (як кнопки), здійснюється зчитування даних про положення сервоприводів із масивів у оперативній пам'яті контролера.

Якщо маніпулятор працює в циклі повторення операцій із пам'яті, то вихід із циклу реалізовано шляхом натискання правого джойстика (як кнопки). Відповідно буде зупинено виконання на поточному етапі циклу повторення, змінено змінні ініціалізації та вихід до базового циклу програми.

```
z1 = digitalRead(right_key); // зчитування значення правого джойстика
if(z1==1) // перевірка натиснутої кнопки джойстика
{
  delay(10); //антидрижання
  if(z1==1) // повторна перевірка натиснутої кнопки джойстика
  {
    pos1=jiyi1[(j-1)]; // привязка позиції поточної до позиції із масиву
    pos2=jiyi2[(j-1)]; //
    pos3=jiyi3[(j-1)];
    pos4=jiyi4[(j-1)];
    i=0; // занулення кількості позицій повтору у пам'яті
    z2=0; //
    break; //вихід з циклу повторення операцій з пам'яті
  }
}
```

Наступний фрагмент коду описує ідентифікацію та керування чотирма сервоприводами, в залежності від їх функціонального призначення та зчитаних значень із джойстиків.

```
claw(); // керування механізмом захвату
turn(); // поворот навколо вертикальної осі
upper_arm(); // підйом/опускання вгору/вниз
lower_arm(); // витягування/втягування маніпулятора
```

Після завантаження в пам'ять контролера ардуїно робочої програми-скетча, отримаємо робототехнічну систему – маніпулятор із програмованими рухами та керуванням за допомогою джойстиків.

Маніпулятор може працювати в двох режимах: ручному та автоматичному.

Ручний режим.

Після підключення живлення, рука робота приймає запрограмоване початкове положення. Для початку роботи потрібно натиснути відповідні джойстики для переміщення руки у задане положення.

Робота лівого джойстика зводиться до керування клешнею-захватом (рух вліво-вправо), та переміщення по горизонталі (вільот стріли).

Робота правого джойстика зводиться до керування поворотом навколо вертикальної осі (за/проти годинникової стрілки) усієї платформи (правий джойстик ліворуч/праворуч), та переміщення по вертикалі (підйом/опускання клешні-захвату).

Автоматичний режим.

Автоматичний режим реалізується за допомогою програмування послідовності рухів із занесенням їх в оперативну пам'ять маніпулятора. Програмування функцій пам'яті здійснюється за допомогою правого (Z1) та лівого (Z2) джойстиків – використовуючи їх як додаткові функціональні кнопки.

Алгоритм програмування послідовності дій маніпулятора здійснюється наступним чином. Після ввімкнення живлення, маніпулятор прийме початкове положення, яке визначається в коді

програми. Після цього, за допомогою джойстиків необхідно встановити потрібне початкове положення клешні-руки. Далі натиснути клавішу Z1 правого джойстика, щоб зберегти значення кутів для усіх 4-х сервоприводів. Натискати клавішу Z1 потрібно після кожного базового руху-повороту, щоб запам'ятати різні положення, максимум 10 положень-поворотів (кількість положень можна змінити у коді програми).

Після успішного запам'ятовування послідовності кроків-поворотів, натиснути клавішу Z2 лівого джойстика, щоб рука робота виконувала послідовність позицій, які занесені в пам'ять маніпулятора. Послідовність буде виконуватися циклічно. Цикл виконання можна перервати з допомогою тривалого натискання клавіші Z1 правого джойстика. Знову натиснувши клавішу Z1 правого джойстика, почнеться процедура запам'ятовування поточної позиції маніпулятора. Натискання клавіші Z2 призведе до виконання дій занесених в пам'ять системи маніпулятора.

Задача сортування є типовою задачею в робототехніці. Для вирішення якої потрібно вибрати платформу, розробити або використати існуючу та середовище програмування.

Крім створення самої моделі дуже важливим є побудова програмного забезпечення. Можливі кілька способів створення алгоритмів, серед них програмне середовище Mindstorms Ev3, що являє собою графічний спосіб опису алгоритмів, при цьому алгоритм створюються у вигляді набору різних блоків, або Python.



Рис. 2. Вигляд конструкції робота-сортувальника

Але крім створення програм необхідно також й апробувати їх на самому роботі. Перш за все, для запуску програм, які створені за допомогою мови Python, на мікрокомп'ютері Ev3 необхідно встановити спеціальні інструменти на карту microSD, завдяки чому і можна буде виконувати програмне забезпечення на розумному блоці. По-перше необхідно завантажити на комп'ютер спеціальний образ, який необхідно буде встановити на носій використавши додаток для запису образів на диск, для запуску програм на роботизованій системі.

При створенні моделі використовують крім стандартного набору LEGO Mindstorms Ev3, сумісний з ним набір LEGO Technic. Завдяки цьому набору можна буде здійснювати переміщення деталей певного кольору на задане місце. Для побудови конструкції робота необхідні два механічні приводи для піднімання стріли, та велике зубчасте колесо, яке здійснює обороти робота-маніпулятора. До цих елементів і будемо під'єднувати наші мотори. Доцільно буде використати саме середні мотори, адже вони не є великими за обсягом та їхньої обертальної сили буде цілком достатньо для виконання поставлених задач. На кінці стріли присутній маніпулятор завдяки якому і можна здійснювати захоплення потрібних елементів для сортування. Також всю модель можна привести в рух завдяки гусеничним опорам. Для відтворення необхідних рухів потрібно під'єднати мотори в місцях, які приводять механізм у дію. Один мотор розміщено знизу біля зубчастого колеса, ще один біля механізму, який приводить в рух стрілу (опускає та піднімає її). Стріла буде рухатися тільки одним приводом через нестачу вільних портів у самому блоці. Ще один мотор буде відповідати за роботу маніпулятора. Для роботи механізмів будемо використовувати середні мотори, адже вони є компактними і також доволі потужними, а вже для руху самої моделі з'єднаємо гусеничну базу з великим мотором. Для розширення функціоналу можна паралельно підключити ще

© Здолбівська Н.В., Костючко С.М., Ковальчук П.Є., Пашук В.Ю.

один розумний блок, що дасть змогу збільшити доступну кількість портів для моторів та давачів, але в даному випадку це буде не доцільним через те, що сама модель стане дуже громіздкою та лишиться багато невикористовуваних портів.

Роботу-сортувальнику потрібно розпізнавати об'єкти які потрібно підбирати та розпізнавати. Для розпізнавання елементів можна використовувати такі два давачі: інфрачервоний давач та давач кольору. Завдяки інфрачервоному давачеві можна знаходити об'єкти, які будуть вирізнятися на рівній площині. А завдяки давачу кольору буде розрізняти елементи за їхнім кольором.

Для реалізації нашого програмного забезпечення ми ініціалізували мотори, давач кольору та дотику разом з інфрачервоним давачем. Для цього підключили необхідні бібліотеки.

В основі пошуку елементів лежить інфрачервоний давач. Прикріпивши даний давач до стріли і направивши донизу можна виявляти будь-які нерівності на поверхні. Таким чином розмістивши на рівній поверхні потрібні елементи даний давач буде їх знаходити, що й буде приводити до певних дій. Для прикладу в стоячому положенні, коли великий мотор простоє, середній мотор буде приводити в рух велике зубчасте колесо, яке в свою чергу змушує робота обертатися.

Створено роботизовану модель, яка здатна здійснювати сортування об'єктів за певними характеристиками, а саме за їх кольором. Для цього було використано платформу Lego MINDSTORMS Ev3, яка запрограмована інструментами MicroPython.

Висновки

Здійснена реалізація моделі систем керуванням маніпулятором на базі Arduino та платформі Lego MINDSTORMS Ev3 для навчальних цілей або невеликих виробничих операцій, яка є істотно вигіднішою в комерційному плані в порівнянні з існуючими промисловими аналогами. Розв'язано завдання проектування та складання механічних частин роботизованої системи, кінематики рухів вперед та назад, щоб контролювати положення та захват об'єкта.

Розроблено програмне забезпечення для керування системою робота-маніпулятора. Даний програмно-апаратний комплекс може бути впроваджений в навчальний процес для вирішення поставлених прикладних завдань в навчальних лабораторіях кафедри, зокрема керування роботом-маніпулятором для здійснення певних операцій автоматизації процесів та використання його для контролю, застосувавши відповідні давачі, наприклад ультразвукові, кольору і т.д. Що в свою чергу розвиває у студентів творчий потенціал, навички абстрактного мислення та послідовного вирішення проблем, вчить інноваційності, міжособистісної взаємодії. Поєднання інтерактивних роботів і сучасних методів у навчанні дає можливість на новому рівні вивчати програмування та відразу ж застосовувати у реальному світі, знайомлячись із новими технологіями, що нас оточують. У такий спосіб зростає інтерес до навчання в цілому, а це, безперечно, дає можливість розкрити безмежний потенціал молодого покоління.

Список бібліографічного опису

1. Варков А.А., Разработка и исследование системы управления манипуляционным промышленным роботом на базе контроллера, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://lib.eltech.ru>.
2. Голубев Л.П., Вовк Д.М. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління роботом-маніпулятором [Електронний ресурс]. Технології та дизайн. – 2019. – № 3. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_6
3. Голубев Л.П., Чумак Б.І. Дистанційне керування роботом-маніпулятором [Електронний ресурс]. Технології та дизайн. – 2019. – № 2. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2019_2_10
4. Егоров О.Д. Прикладная механика мехатронных устройств: учебное пособие. - М.: ФГБОУ ВПО МГТУ "СТАНКИН", 2013. – 229 с.
5. Здолбіцька Н.В., Ковальчук П.Є. Система керуванням маніпулятором. Міжнародний науково-практичний семінар молодих вчених та студентів Програмовані логічні інтегральні схеми та мікропроцесорна техніка в освіті і виробництві (12-13 травня 2020 р.) / відп. ред. П.А. Пех. – Луцьк: Вежа-Друк. – 2020, с.45.
6. Здолбіцька Н.В., Пашук В.Ю., Якимчук Т.П., Кирилук А.Л. Проект «MINOTAVR» на базі LEGO MINDSTORMS EV3. Інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технологічними комплексами: збірник тез міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів (21-22 травня 2019 р.) / відп. ред. П.А. Пех. – Луцьк: Вежа-Друк, 2019. – 50 с.
7. Здолбіцька Н.В., Савлук А.В. Моделювання поведінки живих організмів за допомогою аніматів на базі роботизованих платформ. Міжвузівський збірник Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво - Луцьк: Видавництво ЛНТУ. - Вип. 12. - 2013. - С. 27-30.
8. Можиль Б.В. Использование микропроцессоров при создании автоматизированных систем управления / Б.В. Можиль, С.Ю. Фетисенко, Л.П. Голубев. Технології та дизайн. – 2016. – № 3. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_6
9. Монашко С.Ю., Здолбіцька Н.В., Здолбіцький А.П. Arduino – проект рухомої веб-камери. Міжвузівський збірник Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво – Луцьк: Видавництво ЛНТУ. – Вип. 15. – 2014. – С. 32-36.
10. Vaish Diwakar. Python Robotics Projects: Build smart and collaborative robots using Python Packt Publishing, 2018. — 363 p.

11. Костючко С.М., Скляничук О.М., Ілюшук Р.С. Математичні основи та програмування мікроконтролера ATMEGA328 з використанням Pololu 3PI Robot. Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво". – Луцьк: РРВ Луцького НТУ. – Вип. 28-29, 2017. – С. 5-9.

References

1. Varkov A.A., Development and research of control systems of the manipulative industrial robot on the basis of the controller, [Electronic resource] – Access mode: <http://lib.eltech.ru>.
2. Golubev L.P., Vovk DM Development of a computer-integrated control system for a robot manipulator [Electronic resource]. Technology and design. – 2019. – № 3. – Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_6
3. Golubev LP, Chumak BI Remote control of a robot manipulator [Electronic resource]. Technology and design. – 2019. – № 2. – Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2019_2_10
4. Egorov O.D. Applied mechanics of mechanical devices: a textbook. – M.: FGBOU VPO MSTU "STANKIN", 2013. – 229 p.
5. Zdolbitska N.V., Kovalchuk P.E. Manipulator control system. International scientific-practical seminar of young scientists and students Programmable logic integrated circuits and microprocessor technology in education and production (May 12-13, 2020) / Resp. ed. PAS. Bad luck. – Lutsk: Tower-Print. – 2020, p.45.
6. Zdolbitska N.V., Pashchuk V.Y., Yakimchuk T.P., Kirilyuk A.L. Project "MINOTAVR" based on LEGO MINDSTORMS EV3. Information, software and hardware of the management system of organizational and technological complexes: a collection of abstracts of the international scientific-practical conference of young scientists and students (May 21-22, 2019) / Resp. ed. PAS. Bad luck. – Lutsk: Vezha-Druk, – 2019. – 50 p.
7. Zdolbitska N.V., Savluk AV Modeling the behavior of living organizations with the help of animations on the basis of working platforms. Interuniversity collection Computer-integrated technologies: education, science, production - Lutsk: LNTU Publishing House. – Vip. 12. – 2013. – P. 27-30.
8. Mozhchil B.V. The use of microprocessors in the creation of automated control systems. Technology and design. – 2016. – № 3. – Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_6
9. Monashko S.Yu., Zdolbitskaya N.V., Zdolbitsky A.P. Arduino - a project of mobile webcams. Interuniversity collection Computer-integrated technologies: education, science, production – Lutsk: LNTU Publishing House. – Vip. 15. – 2014. – P. 32-36.
10. Weish Divakar. Python Robotics Projects: Creating Smart and Collaborative Robots with Python Packt, 2018. – 363 p.
11. Kostyuchko S.M., Sklyanchuk O.M., Ilyushik R.S. Mathematical foundations and programming of the ATMEGA328 microcontroller using Pololu 3PI Robot. Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production". – Lutsk: RRV Lutsk NTU. – Vip. 28-29, 2017. – P. 5-9.