

експериментально підтвердити правильність розробленої програми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи виробництва електронних апаратів / Невлюдов І.Ш. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ». 2005. 598 с.
2. Комп'ютерні технології автоматизованого виробництва. Невлюдов І.Ш., Бережна М.А. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ». 2007. с. 368
3. Основи САПР: технічна підготовка виробництва: Навч. посібник / Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.О., Євсєєв В.В., Мілютіна С.С. Київ: НАУ. 2014. 360 с.
4. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник. Кривий Ріг: КК НАУ. 2017. 444 с.
5. Стельмах Н. В. Автоматизація технологічного підготовки складального малосерійного виробництва електромеханічних приладів: Дис... канд. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 189 с.
6. Юлдашев М.Н., Зотьєва Д.Е. Конструкторское решение для быстрого прототипирования электронных устройств. Сборник научных трудов. 15-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2013". М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 24-25 апреля 2013 г. с. 295–300.
7. Пихтеева І. В., Вершков О. О., Малюта С. І. Метод швидкого прототипування виготовлення профільних об'ємних виробів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання; Вип. 21, т. 1. С. 326–333
8. Nevliudov, I., Razumov-Fryzyuk, E., Nikitin, D., Bliznyuk, D., & Strelets, R. (2021). Technology for creating the topology of printed circuit boards using polymer 3D masks. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, (1 (15)), 120–131.
9. Тодд, Р. Прототипирование. Практическое руководство / Р. Тодд [и др.] под ред. Манн, Иванов и Фербер – Москва, 2013. 240 с.
10. Чонка Е.Я. Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3D-принтері. XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського. С. 197–200
11. Білоус, Г.А. Розбиття 3D-об'єктів на тетраедри із заданим ступенем дискретності / Г. А. Білоус, Т. К. Скрипник, Н. К. Медведчук. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2019. № 3. С. 59–62.

***Науковий керівник:** Невлюдов Ігор Шакирович, д.т.н., проф., завідувач кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки*

УДК 658.512

МОДЕЛЮВАННЯ КОРПУСУ БАГАТОЦІЛЬОВОЇ МОБІЛЬНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ

Гаврик С. С., Кострова Г. Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: stanislav.havryk@nure.ua, hanna.kostrova@nure.ua

Дослідження проводиться в області проектування апаратної та програмної частини рухомої охоронної платформи, та вибору необхідних компонентів. Дослідження у цій області допоможуть визначити переваги вибору окремих технічних рішень та доцільність використання рухомих охоронних платформ у порівнянні із стаціонарними.

Ключові слова: системи автоматизованого проектування, прототипування, 3D-модель

MULTIPURPOSE MOBILE ROBOTIC PLATFORM MODELING

S. Havryk, H. Kostrova

Kharkiv National University of Radioelectronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: stanislav.havryk@nure.ua, hanna.kostrova@nure.ua

The research is carried out in the field of designing the hardware and software of the mobile security platform, and the selection of the necessary components. Research in this area will help determine the benefits of choosing individual technical solutions and the feasibility of using mobile security platforms compared to stationary.

Key words: computer-aided design systems, prototyping, 3D model

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. В даний час все частіше на виробництві та в багатьох інших сферах діяльності замінюють роботи. У промисловості використовують стаціонарні роботи для складання, зварювання та фарбування та інших технологічних операцій. Здебільшого промислові роботи є стаціонарними. В інших же сферах, наприклад, розбір завалів, військових дій, розвідки, роботи в особливо небезпечній зоні використовуються мобільні роботи [1, 2]. Таким чином, машина виконує безліч функцій, які раніше виконувала людина, а людині нічого не загрожує. Також поєднуючи можливості різних моделей роботів, можна зменшити кількість персоналу на охоронюваних об'єктах, автоматизувати деякі загальні функції безпеки, негайно посилити безпеку, коли це необхідно, та уникнути змін у якості робіт із забезпечення безпеки, що виконуються персоналом. Використовуючи охоронних роботів, компанії, що надають послуги охорони з працівниками служби безпеки, можуть швидко збільшити кількість своїх охоронюваних місць.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Процес управління мобільним роботом (МР) реалізований, переважно, виконанням апріорно обмеженої безлічі команд зовнішнього інтерфейсу бортової системи управління (СУ). Це регламентує основне обмеження методів управління, що розробляються, створення переважно інформаційного забезпечення для управління кінцевим положенням мультиструктури МР в умовах протидій, що надаються зовнішнім середовищем. Системи управління даним класом об'єктів характеризуються суттєвою нестаціонарністю, оскільки зазвичай включають нестаціонарний контур зворотного зв'язку [3].

Інформаційна структура контуру зворотного зв'язку рівня пропріоцепції апаратно фіксована, на відміну від рівня екстероцепції, на якому вона має тенденцію до трансформації у більш комплексні інформаційно-керуючі форми, при яких модель процесу навігації переймає властивості моделей ієрархічних систем підтримки та прийняття рішень (СППР) [2] з широким використанням математичних структур як метричного, і топологічного просторів [4]. Насамперед, це викликано збільшенням числа та вдосконаленням мехатронних вузлів МР, що передбачає їх асинхронну роботу, для якої, як правило, потрібні процедури узгодження часткових обчислювальних процесів [1].

Розглядаючи абстракцію МР [2] – об'єкта, що автономно переміщається з безліччю інформаційно-рухових дій (ІРД), можна відзначити, що, на відміну від стаціонарних роботів, в управлінні якими є апріорна інформація [4] (цільова конфігурація виконавчих підсистем), управління МР пов'язано з відсутністю у явній формі такої інформації. Наявність у ній конфігурацій як перешкод так і МР, як активного об'єкта середовища [5], значно ускладнює її використання. До теперішнього часу в сучасній робототехніці загальновідома схема структурної організації МР (рис.1), яка розподілена на прикладний, стратегічний та тактично-рефлексивний рівні взаємодії [2].



Рисунок 1 – Узагальнена структура організації МР

Тактично-рефлексивний рівень, включаючи повну групу виконавчих вузлів, узагальнює апаратно фіксовану структуру взаємодіючих модулів, що забезпечують з фіксованим ступенем свободи її переміщення [6]. До них, в залежності від призначення МР, можуть входити приводи, сенсори пропріоцепції та екстероцепції, одометри, модуль навігації. При цьому, основна схема взаємодії заснована на отриманні навігатором деякої послідовності, що управляє, дотримання якої забезпечує введення МР в цільовий стан; відповідно до продуктованих одометрами даними верифікації поточного розташування МР; та локалізація власної конфігурації з використанням даних екстероцепції, результатом чого є визначення мети та формування траєкторії.

Первинні обмеження загального завдання навігації можна назвати досліджуючи механічну зв'язність виконавчих вузлів МР (рис. 2). Формально вони визначаються математичною моделлю руху МР як механічної системи взаємопов'язаних абсолютно твердих тіл, що реалізується на структурі орграфа [4]. Рівняння руху при цьому отримують виходячи із загальних теорем динаміки [2] та нелономної механіки [7]. Причому методи нелономної механіки виявляються тут більш переважними, оскільки в такому випадку модель може бути представлена у векторно-матричній формі [8], що допускає її реалізацію методами комп'ютерної алгебри [9].

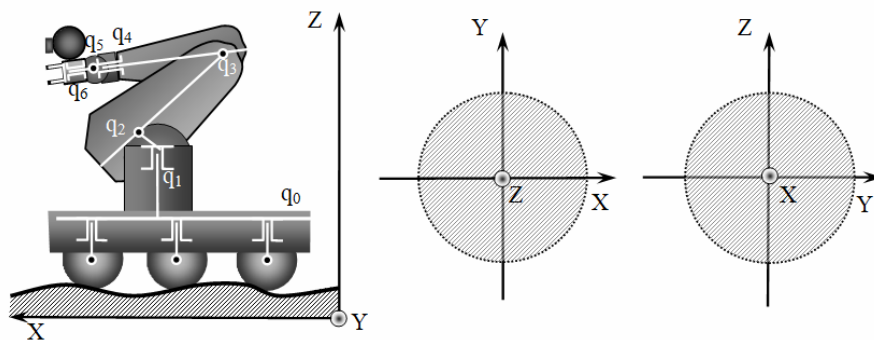


Рисунок 2 – Зв'язність виконавчих вузлів МР

У навігації структура вектора на вході обмежена фазовими координатами СУ, відповідних розташування МР у зовнішньому середовищі [5] з деякою введеною у неї системою координат (СК). У зв'язку з цим, існуючі навігаційні системи є, головним чином, інформаційною надбудовою над СУ без будь-яких модифікацій наявної апаратної структури, і таким чином прикладний і стратегічний рівні реалізуються інформаційним забезпеченням у певному кінцевому конфігураційному просторі станів.

Слід зазначити, що прикладний рівень з інтерфейсом пілотування МР прийнято відокремлювати від процесу навігації через відсутність у відомих методах навігації схем

аналізу досяжності цілей на етапі їх встановлення пілотом [10] або хоча б прийнятності створюваної моделі поведінки МР при виконанні конкретної місії [11]. Постулювання цього рівня вище стратегічного [10] призводить до виникнення складно вирішуваних завдань на узгодження елементів інтерфейсу, якими декларуються цілі, з виконавчо-руховими можливостями, що реалізуються. Очевидно, у майбутньому складність подібних завдань підвищитися через те, що інтерфейс має тенденцію еволюції до форм комунікації людей [11].

Істотне значення тут має асинхронний характер розгортання локальних СУ, що відповідає вимогам функціонування МР у масштабі «жорсткого» реального часу [11]. Відсутність методології побудови уніфікованої моделі об'єктів/перешкод [10] на основі СІ довільної форми, частково викликана відносною реєстрованих сенсорами даних [4], як і відмінності використовуваних дескрипторів у значно обмежених методах обробки СІ, призводить до загальної неоднорідності структури навігаційних даних та моделі процесу навігації в цілому.

Аналіз архітектур існуючих МР [8] дає можливість виділити типові реляції (рис. 3) між рівнями організації МР. Насамперед, вони обумовлені алгоритмічними зв'язками взаємодіючих підпроцесів процесу навігації, що «розгортається» у часі як процесу функціонування абстрактної СППР, що включає стратегічний (глобальна навігація), тактичний (локальна навігація) та реактивний (оптимальне проходження спланованої траєкторії) вертикальні рівні взаємодій [5, 12].

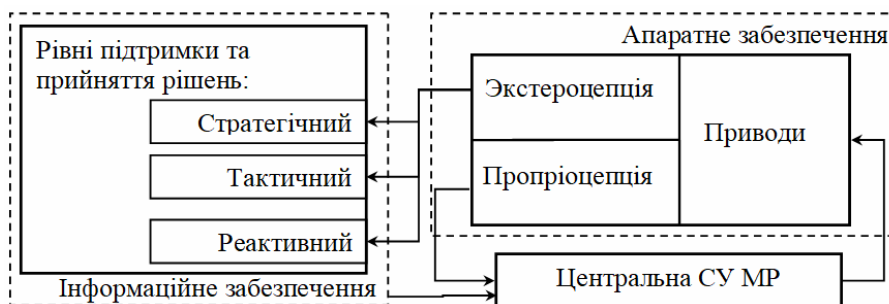


Рисунок 3 – Тактико-технічна організація МР

АНАЛІЗ ПРИНЦИПУ РОБОТИ СИСТЕМ ПЕРЕСУВАННЯ. Мобільному роботу необхідні певні механізми пересування, щоб він міг рухатися по своєму оточенню. Існує декілька механізмів для досягнення цієї мети. Механізми руху ніг роботів часто надихаються біологічними системами, які є дуже успішними у пересуванні по різних типах поверхонь.

Для кожного виду пересування, без різниці, використовуватиметься колесо, ноги чи інша концепція – є три основні проблеми: стабільність, характеристики контакту з землею та тип середовища пересування.

Основними атрибутами стабільності є кількість і геометрія точок контакту, сила тяжіння і нахил місцевості. Характеристики контакту із землею залежать від типу точки контакту (у випадку з ногами – це відбиток стопи), кут контакту з землею і тертя між роботом і поверхнею. Атрибутами типу середовища є структура середовища (наприклад, у випадку жорсткого середовища), і саме середовище (наприклад, вода, повітря, тверда або м'яка земля) [13].

У нашому випадку платформа буде використовуватися для роботи у приміщенні, на жорсткій та рівній поверхні. Виключення становлять різні покриття, такі як килими, лінолеум, стики між приміщеннями. Через це будемо використовувати колісну або гусеничну платформу пересування.

Пересувні колісні та гусеничні роботи мають мінімум два двигуни, які використовуються для приведення в рух і керування роботом [14]. Зазвичай обирають ковзаюче рульове через простоту інсталяції, конфігурації та управління. Використання третього заднього колеса, як правило, запобігає падінню робота. Чотириколісні роботи мають два, або чотири двигуна і

використовують рульове управління. Шестиколісні роботи найчастіше мають два, чотири або шість двигунів. Збільшення кількості приводних двигунів допомагає роботу підніматися на більш круті нахили, за допомогою підвищеного крутного моменту [13].

Додавання коліс без двигуна часто призводить до втрати ваги з ведучих коліс, що призводить до ковзання та втрати тяги [15, 16]. На рис. 4 центральне колесо, обране помилково як приводне колесо, часто втрачає контакт із землею.

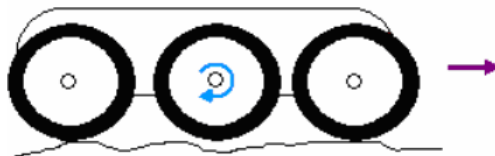


Рисунок 4 – Колісна база із центральним ведучим колесом

Система коліс (або зв'язування всіх коліс із шестернями або приводними ремнями) також допомагає запобігти цьому. Колії – не обов'язково кращий вибір, ніж використання кількох приводних коліс. Виробники танків у всьому світі виробляють як колісні, так і гусеничні моделі танків, і обидві концепції демонструють майже однакові показники. Більшість користувачів погоджуються, що танкові колії – далеко не самий вишуканий спосіб транспортування і мають тенденцію "рвати" землю під собою. Роблячи щільний поворот або повертаючись на місці, протектори танка стикаються з значно більшим опором, ніж колеса, оскільки обидві половини притискаються до землі перпендикулярно радіусу повороту. Саме через це такі платформи споживають дуже багато електроенергії.

Можливо розробити самобалансуючого робота, використовуючи два колеса. Або можливо розробити більш стабільну платформу, використовуючи чотири або більше [17].

Два ведучих колеса використовуються для приведення в рух і повороту робота (рульове керування), а одне або два холості колеса запобігають падінню робота вперед або назад. Колесо «холостого ходу» може бути роликком або кулею.

Правильний розмір колеса дуже важливий, і слід подбати, щоб вибрати правильний для кожного конкретного робота. Потрібно врахувати два основних рівняння:

$$- \text{швидкість} = \text{кутова швидкість (колеса)} \times \text{радіус (колеса)}$$

Це означає, що і радіус колеса, і кутова швидкість, з якою воно обертається, впливатимуть на швидкість руху вперед.

$$- \text{сила (що діє колесом на поверхню)} = \text{крутний момент (двигуна)} / \text{радіус (колеса)}$$

Щоб колісний робот рухався або піднімався по нахилу, колесо прикладає горизонтальну силу на поверхню. Якщо вам потрібно прикласти велику силу (оскільки ваш робот важкий), то вам потрібно збільшити крутний момент або зменшити радіус колеса. Збільшення крутного моменту, як правило, дороге, а збільшення радіуса зазвичай означає важче колесо, що вимагає більше крутного моменту, але також зменшує максимальну швидкість (оскільки воно повинне обертатися швидше). Дуже малий діаметр коліс також може бути недоцільним [13].

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ РОЗРОБКИ АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ. Трьома основними компонентами системи є робототехнічна платформа (РП), сервер і клієнт (рис. 5).

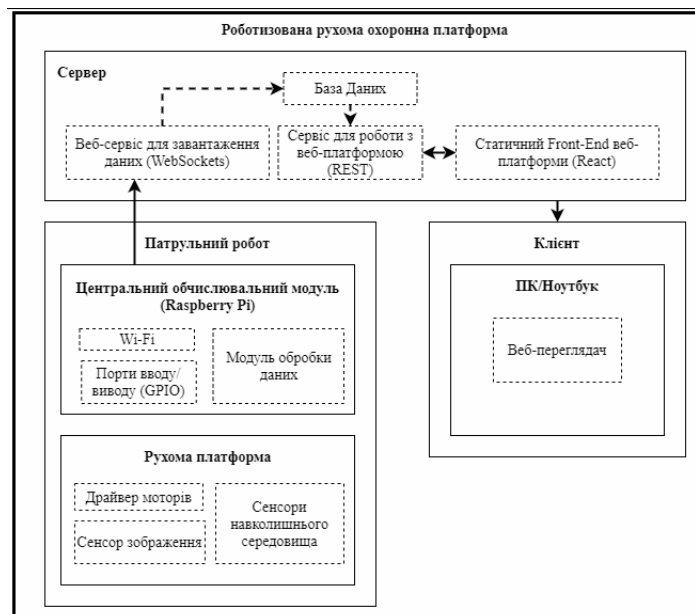


Рисунок 5 – Архітектура системи

Першим і одним з найголовніших модулів буде модуль камери (рис. 6, а). Модуль камери оснащений двома інтенсивними інфрачервоними світлодіодними прожекторами для нічного запису. Інфрачервоні світлодіоди живляться безпосередньо від порту CSI і здатні освітлювати територію на відстані до 8м. Камера також має регульовану фокусну відстань 3,6 мм і кут огляду 75,7 градусів.

Далі необхідно обрати плату, яка буде виконувати роль центрального обчислювального модуля РП. Усі сенсори та додаткові пристрої будуть підключені до цієї плати (рис. 6, б) [11].

Третім необхідним модулем є модуль контролю температури, вологості і тиску. Таким модулем було обрано BME280. Пристрій BME280 є цифровим барометричним датчиком тиску і є модернізованою версією BMP180. Датчик умістився на дуже малій платі, яка забезпечує доступ до датчика через інтерфейс I2C. Це дозволяє легко підключити його до Raspberry Pi і читати дані за допомогою Python (рис. 6, в).

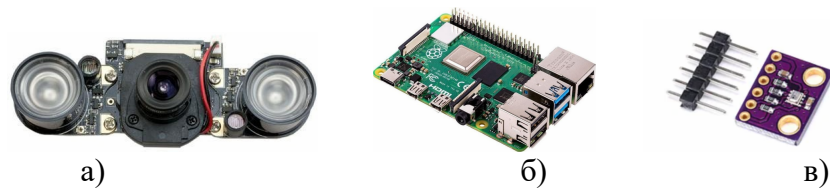


Рисунок 6 – Модулі платформи

СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ ПЛАТФОРМИ. Для ґрунтової поверхні оптимально використовувати шестиколісну платформу з чотирма приводами, розташованими симетрично. Розрахунки по орієнтованій масі готової РП наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Орієнтована маса РП

Параметр	Значення, кг
Орієнтована маса приводів	$4 \times (0,25-0,4) = 1,0-1,6$
Орієнтована маса акумуляторів	$2 \times (0,3-0,4) = 0,6-0,8$
Маса коліс	$6 \times (0,25-0,3) = 1,5-1,8$
Маса електроніки и радіаторів	0,3-0,4
Маса корпусу и шасі	1-1,3
Загалом	4,4-5,9

На рис. 7 представлений ескіз РП (вид зверху та спереду). За даними ескізами можна оцінити габаритні розміри робота.

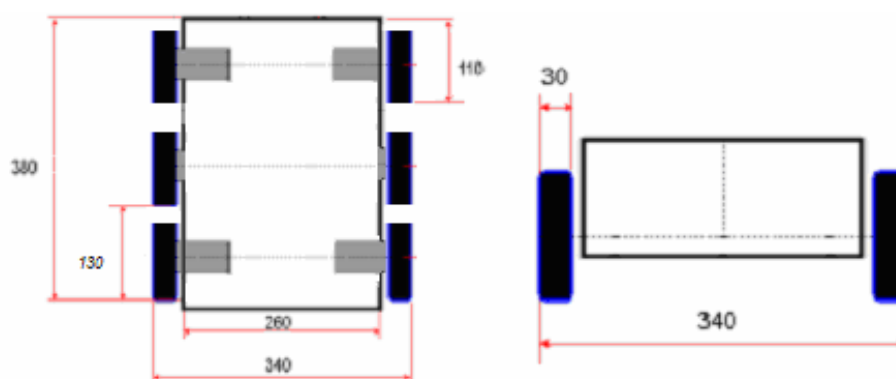


Рисунок 7 – Ескіз платформи з габаритними розмірами

Для розробки 3D-моделі прототипу було обрано програму Fusion 360. Fusion 360 – це хмарна платформа САПР [18, 19], яка є доступною, високопродуктивною альтернативою іншим основним гравцям галузі. Цей додаток простий у використанні та має всі загальні функції, яких можна очікувати від популярних пакетів САПР. Fusion 360 був побудований з нуля, щоб бути всеохоплюючим рішенням для розробки продуктів і може запропонувати простий робочий процес, починаючи від концептуального дизайну і закінчуючи виробництвом.

Fusion 360 має дуже велику базу знань, яка ретельно охоплює всі особливості програмного забезпечення; ці навчальні посібники можна отримати через Fusion 360, а також через веб-сайт Autodesk.

Fusion 360 може виконувати ресурсоємні операції в хмарі, включаючи візуалізацію, моделювання, оптимізацію фігури та генеративний дизайн. Це означає, що робота може тривати, поки весь важкий підйом робиться на хмарі. У Fusion 360 можна перемикатися між шістьма різними робочими областями.

Створення 3D-моделі складається з кількох простих етапів. Перший – створення ескізу (рис. 8).

Ескізи представляють собою лінії та криві на 2D-площині. Вигляд переключиться з тривимірної на 2D-перспективу. Другий етап – видавлювання.

Після цього достатньо застосувати деякі косметичні зміни в об'єкті та експортувати модель (рис. 8). Після цього її можна передати у програму для перетворення моделі на G-code-файл. Він використовується 3D-принтером при друці.

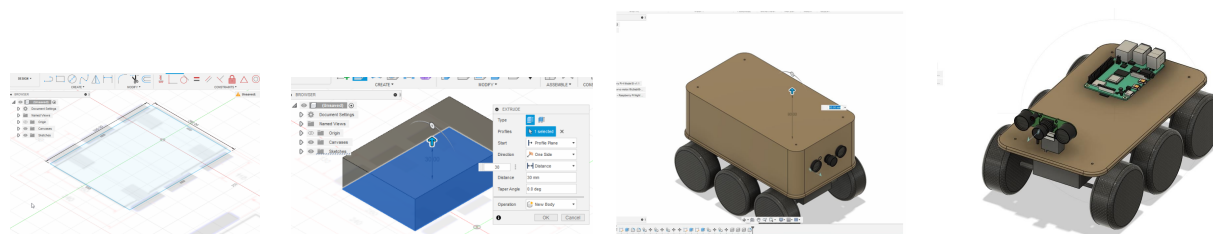


Рисунок 8 – Створення моделі у Fusion 360

ВИСНОВКИ. У роботі було розглянуто основні методології проектування 3D-моделей прототипів, наведено переваги використання пакету САПР Fusion 360, спроектовано модель роботизованої рухомої охоронної платформи, а також розглянуто процес 3D-друку та процесу підготовки моделі до 3D-друку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Demska, N., & Novoselov, S. (2020). Development of a software module for operational dispatch control of production based on cyber-physical control systems. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, (4 (14)), 155–168.
2. Nevliudov I., Tsymbal O., Bronnikov A., Mordyk O. Internet of things for robotic projects. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 58–64.
3. Nevlyudov I., Tsymbal O., Bronnikov A. Intelligent means in the system of managing a manufacturing agent. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2018. № 1 (3). С. 33–47.
4. Цымбал А.М., Бронников А.И. Моделирование адаптивного принятия решений в ИСУ роботом. *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород*. 2013. №4, С. 173–176.
5. Невлюдов І. Ш., Демська Н. П., Скрипник К. Є. Аналіз технології побудови локальної карти середовища мобільного робота. *Технологія приборостроєння*. 2019, №2. с. 10–13
6. Невлюдов І.Ш., Демська Н.П., Чала О.О., Демська А.І. / Групове управління гнучкими виробничими системами у виготовленні МЕМС виробів. Міжнародна науково-практична конференція «Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами (ММП-2018)», Коблево, 10-14 вересня 2018 р. Харків: ХНУРЕ, 2018. С. 101–103
7. Теоретична механіка. Статика. Кінематика: посіб. для студ. вищ. навч. закл. / І. В. Кузьо, Т. М. Ванькович, Я. А. Зінко. Л.: Вид-во «Растр-7», 2010. 324 с.
8. Дудюк Д. Л. Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси: Навч. посібник / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, М. М. Мисик. Львів: "Магнолія плюс" СПД ФО В. М. Піча, 2005. 278 с.
9. Писаренко А. В., Цвелодуб А. О. Розробка інструментальних засобів MATLAB/Simulink для проектування керуючих пристроїв систем управління на базі ПЛІС. *Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. Сер.: Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. №52. 2010. С 53–58.
10. Лоторев, П. В., Курочкин, А. Г., & Гривачев, А. В. (2016). Математическая модель динамической коррекции маршрута подвижного робота. *Наукоемкие технологии*, 17(3), 21–25.
11. Невлюдов І.Ш., Євсєєв В.В., Андрусевич А.О. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi та мови Python 3.6). Харків: ФОП Панов А.М. 2020. 264 с.
12. Бронніков А.І., Методи пошуку оптимального керування. *Технологія приборостроєння*. Харьков, 2015, № 2, С. 53 – 55.
13. Мешковский, Е. О., & Курмашев, А. Д. (2020). Построение математической модели четырёхколёсного мобильного робота с двумя дифференциальными приводными блоками. *Инновации и инвестиции*, (2), 113–118.
14. Колесниченко, Е. Ю., Павловский, В. Е., Орлов, И. А., Алисейчик, А. П., Грибков, Д. А., & Подоприсветов, А. В. (2018). Математическая модель робота на омни-колесах, расположенных в вершинах прямоугольного треугольника. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 19(5), 327–330.
15. Берестова С. А., Мисюра Н. Е., Митюшов Е. А. Кинематическое управление движением колесных транспортных средств, *Вестн. Удмуртск. ун-та. Матем. Мех. Компьют. науки*, 2015, том 25, выпуск 2, 254–266
16. Кампион Г., Бастен Ж., д'Андреа-Новель Б. Структурные свойства и классификация кинематических и динамических моделей колесных мобильных роботов, *Нелинейная динам.*, 2011, том 7, № 4, 733–769
17. Бартенев, В. В., Яцун, С. Ф., & Аль-Еззи, А. С. (2011). Математическая модель движения мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами по горизонтальной плоскости. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 13(4–1).
18. Сімута Р.Р., Петраков Ю.В. Моделювання поверхонь деталей в CAD/CAM системах. *Процеси механічної обробки в машинобудування*. № 12. 2012. С 149–158
19. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. *Основи творення машин*. Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. 448 с.

Науковий керівник: Демська Наталія Павлівна, к.т.н., доцент кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки