



Наукові перспективи  
Видавнича група

№ 4 (4)

2022

# НАУКА i ТЕХНІКА

серії: право, економіка, педагогіка, техніка, фізико-математичні науки

## СЬОГОДНІ



Все буде Україна



**Видавнича група «Наукові перспективи»**

**Громадська наукова організація «Всеукраїнська Асамблея докторів  
наук із державного управління»**

**Громадська організація «Асоціація науковців України»**

## ***«Наука і техніка сьогодні»***

*(Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія «Економіка»,  
Серія «Техніка», Серія «Фізико-математичні науки»)*

**Випуск № 4(4) 2022**

**Київ – 2022**

**Publishing Group «Scientific Perspectives»**

**Public Scientific Organization «Ukrainian Assembly of Doctors of Sciences in  
Public Administration»**

**Public organization «Association of Scientists of Ukraine»**

***"Science and technology today"***  
*("Pedagogy" series, "Law" series, "Economics" series,  
"Technology" series, "Physical and mathematical sciences" series)*

**Issue № 4(4) 2022**

**Kiev – 2022**

**«Наука і техніка сьогодні» (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія «Економіка», Серія «Техніка», Серія «Фізико-математичні науки»): журнал. 2022. № 4(4) 2022. С.354 .**



Згідно

наказу Міністерства освіти і науки України від 07.04.2022 № 320 журналу присвоєно категорію "Б" із економіки та педагогіки

Журнал

видається за підтримки Інституту філософії та соціології Національної Академії наук Азербайджану, громадської організації «Християнська академія педагогічних наук України» та громадської організації «Всеукраїнська асоціація педагогів і психологів з духовно-морального виховання»

Рекомендовано до видавництва Президією громадської наукової організації «Всеукраїнська Асамблея докторів наук з державного управління» (Рішення від 25.04.2022, № 5/4-22)



Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (IC), міжнародної пошукової системи Google Scholar та до міжнародної наукометричної бази даних Research Bible

**Головний редактор:** Якимчук Аліна Юріївна — доктор економічних наук, професор, професор кафедри державного управління, документознавства та інформаційної діяльності Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне, Україна).

**Редакційна колегія:**

1. Артемчук Володимир Олександрович - доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України (Київ, Україна);
2. Бахов Іван Степанович — доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри іноземної філології та перекладу Міжрегіональної академії управління персоналом (Київ, Україна);
3. Бірюкова Тетяна Вікторівна - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біологічної фізики та медичної інформатики Буковинського державного медичного університету (Чернівці, Україна);
4. Будник Вікторія Анатоліївна - кандидат економічних наук, професор, професор кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій Державного університету інфраструктури та технологій (Київ, Україна);
5. Волк Павло Павлович — доцент кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне, Україна);
6. Гнатюк Сергій Олександрович - кандидат технічних наук, доцент, заступник декана факультету авіонавігації, електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету (Київ, Україна);
7. Дацій Олександр Іванович - доктор економічних наук, професор, Заслужений працівник освіти України, завідувач кафедри фінансів, банківської та страхової справи Міжрегіональної академії управління персоналом (Київ, Україна);
8. Дівізінюк Михайло Михайлович - доктор фізико-математичних наук, професор, Завідувач відділу Відділу цивільного захисту та інноваційної діяльності Державної установи "Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України" (Київ, Україна);
9. Дяденчук Альона Федорівна - кандидат технічних наук, старший викладач кафедри вищої математики і фізики Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (Мелітополь, Україна);
10. Забулонов Юрій Леонідович - доктор технічних наук, професор, Член-кореспондент НАН України, директор Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України» (Київ, Україна);
11. Ільїн Валерій Юрійович - доктор економічних наук, професор (Київ, Україна);
12. Ільїна Анастасія Олександрівна - кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри публічного управління і адміністрування Національного торговельно-економічного університету (Київ, Україна);
13. Кардаш Оксана Любомирівна — кандидат економічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики Навчально-наукового інституту автоматичної, кібернетики та обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне, Україна);
14. Квасніков Володимир Павлович — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна);
15. Коваленко Валентин Васильович - доктор юридичних наук, професор, провідний науковий співробітник сектору авторського права та суміжних прав лабораторії авторського права та інформаційних технологій Науково-дослідного центру судової експертизи з питань інтелектуальної власності Міністерства юстиції України (Київ, Україна);
16. Коваленко Олена Михайлівна - кандидат педагогічних наук, провідний науковий співробітник відділу профільного навчання Інституту педагогіки НАПН України (Київ, Україна);
17. Комнатний Сергій Олександрович - докторант кафедри філософії права та юридичної логіки Національної академії внутрішніх справ (Київ, Україна);
18. Кравчук Володимир Миколайович — доктор юридичних наук, доцент, доцент кафедри конституційного, адміністративного та міжнародного права Волинського національного університету імені Лесі Українки (Луцьк, Україна);
19. Кузьмич Людмила Володимирівна - доктор технічних наук, головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна);

20. Куницький Сергій Олегович - кандидат технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник науково-дослідної частини Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне, Україна);
21. Лук'ячук Олександр Петрович — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин та обладнання Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне, Україна);
22. Маджд Світлана Михайлівна - доктор технічних наук, професор , професор кафедри зеленої економіки та економіки природокористування Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління (Київ, Україна);
23. Микитин Тарас Миронович - кандидат технічних наук, завідувач кафедри економіки та менеджменту Рівненського державного інституту культури (Рівне, Україна);
24. Миргород-Карпова Валерія Валеріївна - кандидат юридичних наук, заступник директора з наукової роботи, старший викладач кафедри адміністративного, господарського права та фінансово-економічної безпеки Сумського державного університету (Суми, Україна);
25. Мізюк Вікторія Анатоліївна – кандидат педагогічних наук, доцент, декан факультету управління, адміністрування та інформаційної діяльності Ізмаїльського державного гуманітарного університету (Ізмаїл, Україна);
26. Мірошніченко Валентина Іванівна - доктор педагогічних наук, професор, завдувач кафедри психології, педагогіки та соціально-економічних дисциплін Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького (Хмельницький, Україна);
27. Міхальський Томаш — доктор наук, доцент кафедри географії регіонального розвитку Гданського університету (Польща) ;
28. Огієнко Микола Миколайович - кандидат технічних наук, професор кафедри організації авіаційних робіт та послуг Національного авіаційного університету (Київ, Україна);
29. Одарченко Роман Сергійович - завідувач кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем Національного авіаційного університету (Київ, Україна);
30. Оніщенко Наталія Миколаївна - доктор юридичних наук, професор, Заслужений юрист України, академік НАПрН України, завідувач відділу теорії держави і права Інституту держави і права ім. В.М.Корецького НАН України (Київ, Україна);
31. Опанасенко Володимир Миколайович — доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна);
32. Охріменко (Жмурко) Тетяна Олександрівна - старший науковий співробітник кафедри комп'ютеризованих систем управління Національного авіаційного університету (Київ, Україна);
33. Павлов Костянтин Володимирович — доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри підприємництва і маркетингу Волинського національного університету імені Лесі Українки (Луцьк, Україна);
34. Поліщук Віталій Васильович — кандидат сільськогосподарських наук , завідувач відділу зрошення, відділення меліорації Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна);
35. Приходькіна Наталія Олексіївна - доктор педагогічних наук, професор кафедри педагогіки, адміністрування і спеціальної освіти Навчально-наукового інституту менеджменту та психології ДЗВО «Університет менеджменту освіти» НАПН України (Київ, Україна);
36. Сапожников Станіслав Володимирович - доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри педагогіки та психології Університету імені Альфреда Нобеля (Дніпро, Україна);
37. Синиціна Юлія Петрівна - кандидат технічних наук, PhD, доцент кафедри економічної та інформаційної безпеки Дніпропетровського державного університету внутрішніх справ (Дніпро, Україна);
38. Сопілко Ірина Миколаївна - доктор юридичних наук, професор, Відмінник освіти України, Заслужений юрист України, декан юридичного факультету Національного Авіаційного Університету (Київ, Україна) ;
39. Стахова Анжеліка Петрівна — старший викладач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна);
40. Титко Анна Василівна — кандидат юридичних наук, провідний науковий співробітник Національної академії внутрішніх справ (Київ, Україна) ;
41. Турчинова Ганна Володимирівна — кандидат педагогічних наук, доцент, декан факультету природничо-географічної освіти та екології Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова (Київ, Україна);
42. Федоренко Владислав Леонідович — доктор юридичних наук, професор, DrHb - доктор хабілітований наук правничих (Польська академія наук), Заслужений юрист України, директор Науково-дослідного центру судової експертизи з питань інтелектуальної власності Міністерства юстиції України ((Київ, Україна);
43. Фесенко Андрій Олексійович - кандидат технічних наук, асистент кафедри кібербезпеки та захисту інформації Київського національного університету імені Тараса Шевченка. (Київ, Україна);
44. Черненко Варвара Петрівна - кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформатики і вищої математики Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (Кременчук, Україна);
45. Чернуха Надія Миколаївна — доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри соціальної реабілітації та соціальної педагогіки Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ, Україна);
46. Чумак Оксана Володимирівна - доктор економічних наук, доцент, науковий співробітник відділу статистики і аналітики вищої освіти Державної наукової установи «Інститут освітньої аналітики», (Київ, Україна);
47. Шандра Наталія Андріївна - кандидат педагогічних наук, доцент кафедри іноземних мов для природничих факультетів Львівського національного університету імені Івана Франка (Львів, Україна);
48. Шеремет Інеса Володимирівна - кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри медикобіологічних та валеологічних основ охорони життя і здоров'я Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова (Київ, Україна);
49. Якимчук Олег Феодосійович - керівник групи білінгу Відділу бізнес-систем Департаменту інформаційних технологій ПРАТ «Рівнеобленерго» (Рівне, Україна);
50. Яцишин Андрій Васильович - доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Відділу цивільного захисту та інноваційної діяльності Державної установи "Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України" (Київ, Україна)

УДК 62.52:681.527.8

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2022-4\(4\)-163-174](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2022-4(4)-163-174)

**Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, тел.: (057) 702-14-84, <https://orcid.org/0000-0002-9837-2309>

**Євсєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, тел.: (057) 702-14-84, <https://orcid.org/0000-0002-2590-7085>

**Демська Наталія Павлівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, тел.: (057) 702-14-84, <https://orcid.org/0000-0002-9931-9964>

**Руденко Вероніка Олексіївна**, студент факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, тел.: (057) 702-14-84, <https://orcid.org/0000-0003-2966-1681>

## РОЗРОБКА 3D-МОДЕЛІ ЗООМОРФНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ПО МЕТАЛЕВИМ ПОВЕРХНЯМ

**Анотація.** Впровадження нової виробничої концепції Industry 4.0 розширює можливості впровадження передових технологій, таких як мобільні роботи, штучний інтелект, хмарні обчислення і т.д. Все це, разом, дозволяє реалізувати нові сміливі підходи до вирішення нових перспективних завдань. Однією з прогресивних технологій у концепції Industry 4.0 є мобільна робототехніка. Дослідження у цій галузі ведуть: Festo, Boston Dynamics, Kuka AG, ABB Robotics та багато інших провідних компаній. Аналізуючи розробки цих фірм можна побачити, що є спеціалізовані мобільні роботи, створені задля розв'язання специфічних, складних завдань. Їх рішення неможливе без розробки нових конструкцій, систем управління та переміщення мобільних роботів. Проводячи аналіз публікацій, було виявлено, що на даний час не приділено достатньо уваги

розробці мобільних роботів для моніторингу та контролю несучих металевих ферм балкових мостів. Особливістю даної задачі є необхідність реалізації не тільки вертикального методу переміщення, але й забезпечення переміщення в перевернутому вигляді. При цьому мобільний робот повинен мати наступні характеристики: мати можливість руху по перетинах розривів несучих конструкцій, мати систему комп'ютерного зору і систему аналізу робочої зони. Виходячи із заявлених характеристик, авторами розроблена структурна схема, на базі мікроконтролера ESP32-CAM, обрані апаратні модулі необхідні та достатні для вирішення поставленого завдання. Розроблено 3D-моделі окремих деталей та проведено складання конструкції мобільного робота вертикального переміщення в CAD SolidWork 2020. Отримана модель стала основою для 3D-друку експериментального макета мобільного робота вертикального переміщення по металевим фермам балкового мосту. Також у роботі автори розробили схему підключення всіх модулів управління та живлення мобільного робота у середовищі PCB Altium Designer 20.2. Спроектований мобільний робот для моніторингу контролю несучих металевих ферм балкового мосту, на думку авторів, дозволить прискорити та оптимізувати процес пошуку та ліквідації дефектів за рахунок гнучкості конструкції у переміщенні та застосування сучасних технологій управління на базі IoT.

**Ключові слова:** зооморфний робот, робототехнічні системи, ферми, балочний міст, системи керування, 3D-моделювання, Solid Work, Altium Designer, 3D-друк.

**Nevliudov Igor Shakirovich**, Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv National University of Radio Electronics, 61166, Kharkiv, Nauky Ave. 14, tel.: (057) 702-14-84, e-mail: igor.nevliudov@nure.ua, <https://orcid.org/0000-0002-9837-2309>

**Yevsieiev Vladyslav Vyacheslavovich**, Doctor of Engineering Science, Professor of Department of Computer-Integrated Technologies, Kharkiv National University of Radio Electronics, 61166, Kharkiv, Nauky Ave. 14, tel.: (057) 702-14-84, <https://orcid.org/0000-0002-2590-7085>

**Demaska Nataliia Pavlivna**, Candidate of Engineering Science (Ph.D), Associate Professor of Department of Computer-Integrated Technologies, Kharkiv National University of Radio Electronics, 61166, Kharkiv, Nauky Ave. 14, tel.: (057) 702-14-84, <https://orcid.org/0000-0002-9931-9964>

**Rudenko Veronika Olexievna**, student of the Faculty of Automation and Computer Technology, Kharkiv National University of Radio Electronics, 61166, Kharkiv, Nauky Ave. 14, tel.: (057) 702-14-84, <https://orcid.org/0000-0003-2966-1681>

## DEVELOPMENT OF 3D-MODEL OF ZOOMORPHIC MOBILE ROBOT FOR VERTICAL MOVEMENTS ON METAL SURFACES

**Abstract.** The introduction of the new production concept of Industry 4.0 expands the possibilities of implementing advanced technologies such as mobile robots, artificial intelligence, cloud computing, etc. All this, together, allows us to implement new bold approaches to solving new promising challenges. One of the advanced technologies in the Industry 4.0 concept is mobile robotics. Research in this area is conducted by: Festo, Boston Dynamics, Kuka AG, ABB Robotics and many other leading companies. Analyzing the developments of these companies, we can see that there are specialized mobile works designed to solve specific, complex problems. Their solution is impossible without the development of new designs, control systems and the movement of mobile robots. Analyzing the publications, it was found that currently not enough attention is paid to the development of mobile robots for monitoring and control of load-bearing metal trusses of beam bridges. The peculiarity of this task is the need to implement not only the vertical method of movement, but also to ensure movement in the inverted form. In this case, the mobile robot must have the following characteristics: be able to move across the intersections of the ruptures of load-bearing structures, have a system of computer vision and a system of analysis of the working area. Based on the stated characteristics, the authors developed a block diagram based on the ESP32-CAM microcontroller, the selected hardware modules are necessary and sufficient to solve the problem. 3D-models of separate details are developed and the design of the mobile robot of vertical movement in CAD SolidWork 2020 is made. The obtained model became the basis for 3D-printing of the experimental model of the mobile robot of vertical movement on metal trusses of the beam bridge. Also in the work, the authors developed a scheme for connecting all control modules and power of the mobile robot in the PCB Altium Designer 20.2. According to the authors, the designed mobile robot for monitoring the control of load-bearing metal trusses of the beam bridge will speed up and optimize the process of finding and eliminating defects due to flexibility in the movement and application of modern control technologies based on IoT.

**Keywords:** zoomorphic robots, robotic systems, beam bridge systems, control systems, 3D modeling, Solid Work, Altium Designer, 3D printing.

**Постановка проблеми.** Сучасні мобільні роботи отримали широке використання у різних сферах діяльності людини [1–2], що значно збільшило кількість досліджень, направлених на розробку та вдосконалення конструкцій і систем управління мобільних роботів, які мають вирішувати широкий спектр завдань і мати багатоцільове застосування [3–4]. З одного боку, це дозволяє уніфікувати конструкції мобільних роботів, але при цьому не дозволяє використовувати їх при вирішенні складних специфічних завдань. Для їх



вирішення необхідно розробляти вузькоспрямовані конструкції, які будуть адаптовані до тих чи інших видів робіт. Яскравим прикладом може бути розробка мобільних роботів для інспекції герметичності та цілісності труб у нафтогазопроводах або розробка мобільних роботів для прокладання телефонних та електричних кабелів під землею [5–6]. Проводячи дослідження сфер застосування спеціалізованих мобільних роботів та їх конструкцій, залежно від сфери застосування, автори помітили, що в той же час мало приділено увагу розробці мобільних роботів для моніторингу блочно-фермових мостів. Особливістю даної конструкції є те, що для побудови несучих конструкцій використовуються сталеві ферми з різною шириною. Прикладом такого мосту може бути міст Golden Gate Bridge (San Francisco) довжиною 2.737 метрів і висотою 227.4 [7]. Обслуговування та моніторинг поверхонь конструкцій несучих ферм, зазвичай, виконується за участю людини, або, у складно доступних місцях, за допомогою візуального огляду з квадрокоптера [8]. Виходячи з цього, автори розглядають завдання розробки спеціалізованого мобільного робота з можливістю вертикального та перевернутого переміщення по несучих фермах такого типу мостів, який має систему комп'ютерного зору та віддаленого управління для моніторингу складно доступних місць.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У статті Н. Attar розроблено експериментальний макет зооморфного мобільного робота вертикального переміщення металевими поверхнями. Автори запропонували в основі кінематики переміщення мобільного робота використати прототип біологічного зразка – гусениці сімейства Caterpillar [9]. Проводячи аналіз даної роботи можна зробити висновок, що система управління мобільним роботом реалізована з використанням мікроконтролера ESP 8266-12, що не дозволяє реалізувати систему комп'ютерного зору, отже управління цим мобільним роботом можливе лише у зоні прямої видимості оператора. Це суттєво обмежує функціонал розробленого експериментального макету. У роботі W. Jiang розроблено конструкцію спеціалізованого мобільного робота, який переміщується по лінії електропередачі для її обслуговування [10]. Проводячи розробку даного робота автори використовували класичну схему реалізації двигунів з колісною базою. Дане рішення є спірним, з погляду конструкторського рішення, так як дозволяє реалізовувати тільки горизонтальне переміщення зверху ліній передачі, що також обмежує функціонал цього мобільного робота. У статті Lichun Nan проводяться дослідження щодо вибору методів адгезії для мобільних роботів вертикального переміщення, що застосовуються для очищення зовнішніх бортових поверхонь великих військових та цивільних кораблів від нальоту та мушлі [11]. У статті основна увага приділяється методу магнітної адгезії у поєднанні з іншими методами хімічної адсорбції, а також аналізу робочих характеристик та проблем різних роботів вертикального переміщення.

Розглядаючи запропоновані методи зчеплення різнорідних твердих тіл у місцях контакту їх поверхонь, щодо застосування їх до вирішуваного завдання,

можна зазначити, що несучі ферми мосту можуть містити пил, бруд та залишки фарби, що призводить до забруднення елементів хімічної адсорбції. Тому пропонується процес адгезії металевої ферми мосту із роботом, що проектується в даній статті, реалізувати за допомогою електромагнітів ELE-P30/22.

**Мета статті** – удосконалення системи управління та розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота вертикального переміщення для моніторингу контролю несучих металевих ферм балкових мостів.

**Виклад основного матеріалу.** На першому етапі розробки мобільного робота для вертикального переміщення необхідно спроектувати структурну схему та інформаційні канали. Провівши аналіз роботи Н. Attar [9], було виділено ряд недоліків, які описані вище. Для усунення даних недоліків автори пропонують наступну структурну схему мобільного робота, з урахуванням ESP32-CAM [12], представленого на рис. 1.

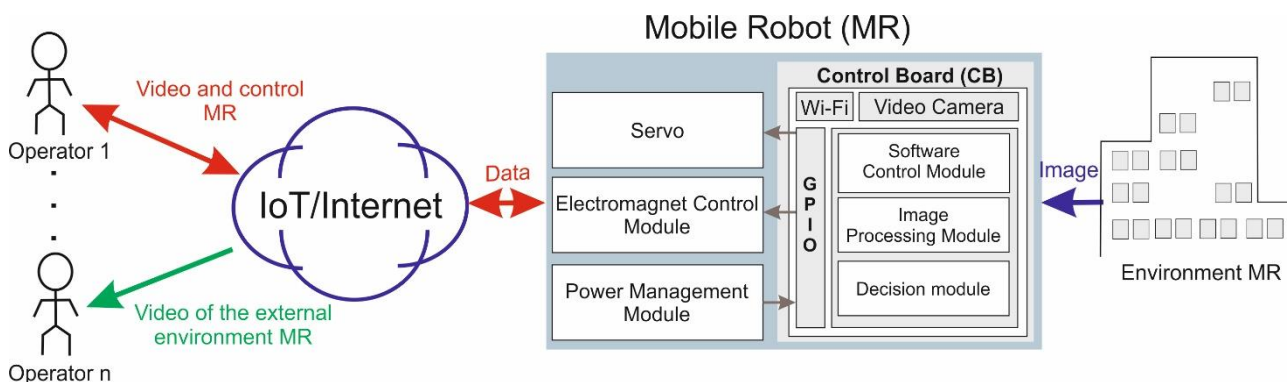


Рисунок 1 – Структурна схема мобільного робота для вертикального переміщення

Мобільний робот складається з наступних основних блоків:

**Control Board** – модуль реалізований на базі плати ESP32-CAM, яка містить апаратно реалізовані модулі Wi-Fi і Video Camer;

**Servo** – мікро-серводвигун для реалізації системи повороту камери для збільшення кута та зручності огляду навколишнього простору;

**Electromagnet Control Module** – призначений для управління включення/вимкнення електромагнітів, залежно від команд оператора;

**Power Management Module** – забезпечує електроживлення мобільного робота.

Реалізація управління та взаємодії між усіма основними апаратними блоками мобільного робота побудована на основі використання інтерфейсу General-Purpose Input/Output (GPIO).

Для вирішення поставлених завдань моніторингу несучих конструкцій мостів запропоновані такі програмні модулі:

**Software Control Module** – призначений для управління мобільним роботом з використанням ESP32-CAM, як точки доступу, за принципом клієнт-серверної архітектури;

Image Processing Module – призначений для обробки отриманого потокового відео, обробки, розпізнавання та ідентифікації об'єктів у робочій зоні мобільного робота;

Decision Module – призначений для опису правил і систем прийняття рішень при автономній системі управління.

Управління мобільним роботом для вертикального переміщення відбувається на базі бездротових мереж Internet of Things (IoT) / Internet-оператором або групою операторів.

На основі розробленої структурної схеми мобільного робота для вертикального переміщення (рис. 1) проведемо вибір апаратних модулів. Загальний вигляд ESP32-CAM та Schematic Diagram GPIO на ESP32-CAM наведено на рис. 2.

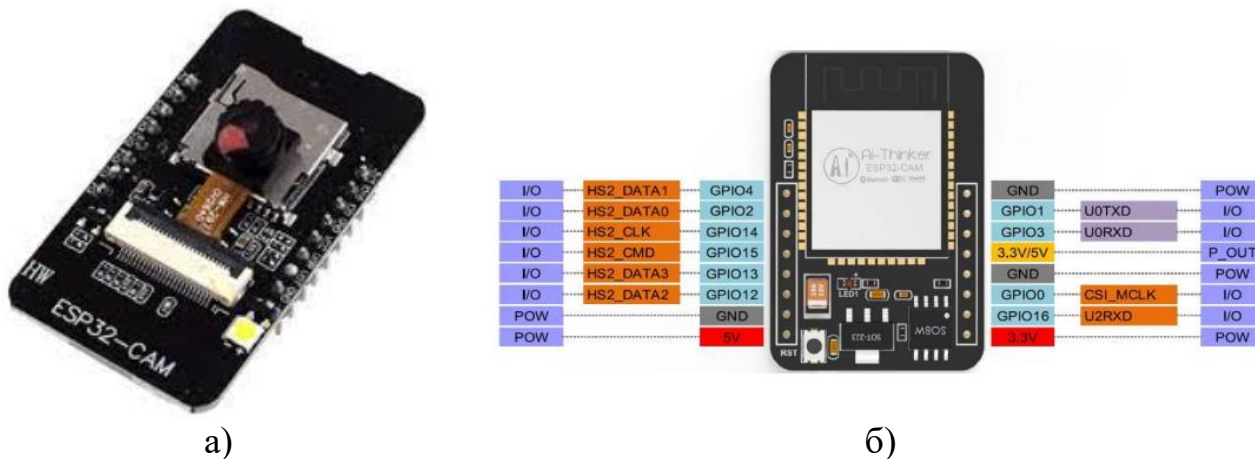


Рисунок 2 – Schematic Diagram GPIO на ESP32-CAM

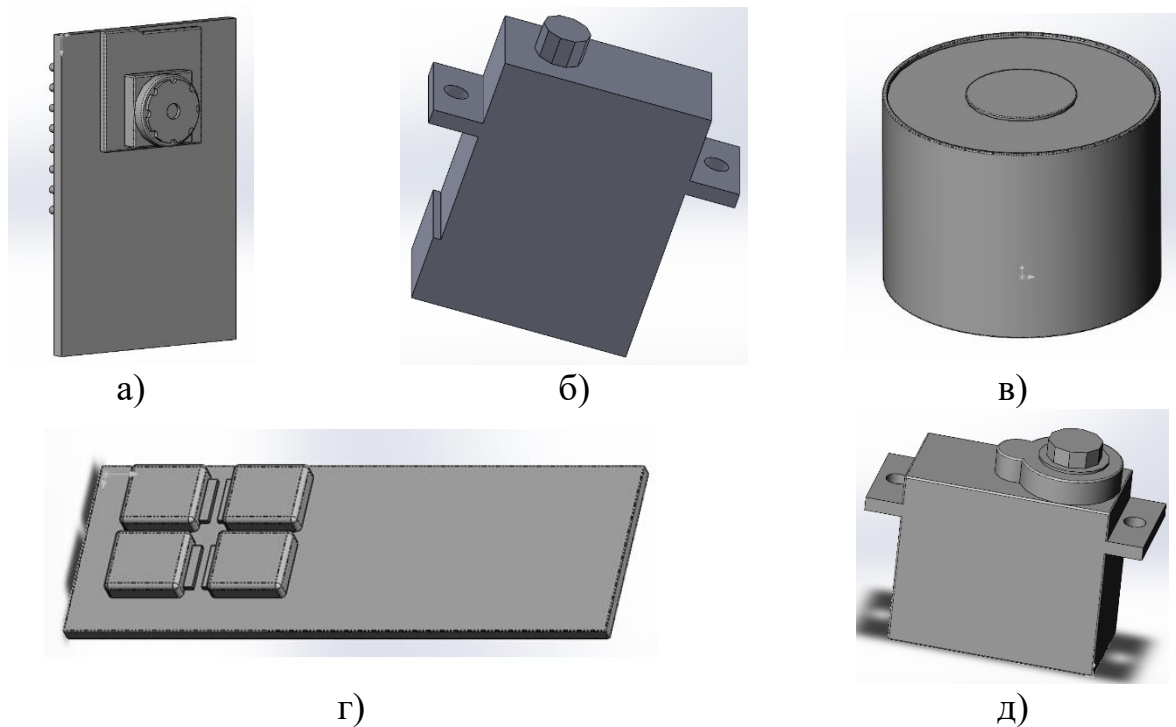
До основних параметрів ESP32-CAM можна віднести такі: максимальна частота мікроконтролера 240 МГц (160 МГц); обсяг вбудованої ОЗУ – 520 Кб та зовнішньої Pseudostatic RAM (PSRAM) – 4 Мб; об'єм ПЗП (зовнішній на microSD) до 16 Гб; розмір – 40.5×27×4.5 мм; вага – 10 г.

Для реалізації блоку servo обрано мікро-серводвигун моделі PZ-15320. Обґрунтуванням вибору даного серводвигуна послужили його габаритні розміри 14x6.2x17.9 мм; вага: 1.7 г [13]. Реалізація адгезії з металеву фермою мосту буде реалізована за допомогою електромагнітів ELE-P30/22, які мають наступні характеристики: номінальна напруга – 12 В; зусилля на відрив – 10 кг; споживаний струм – 0,51 А [14]. Power Management Module планується зібрати на базі акумуляторів 3×18650 серії Li-Mh 3000 mAh [15]. Контроль зарядки акумуляторів 18650 серії пропонується здійснювати за допомогою плати зарядки / розрядки 3x Li-Ion 18650 12.6V 15A HX-3S-FL20, яка буде розміщена на середній секції мобільного робота [16].

За основу кінематики переміщення мобільного робота буде взято біомеханіку гусениці сімейства Caterpillar [9]. Для реалізації переміщення обрано серводвигуни EMAX ES08MAII з характеристиками: робоча напруга: 4.8~6.0 В; крутний момент при 6 В: 2 кг/см; розміри: 23x11.5x24 мм; вага: 12 г [17].

Наступним етапом розробки мобільного робота є проектування 3D-моделей деталей відповідно до габаритних розмірів, зазначених у Datasheet і розробка 3D-моделі корпусу з подальшим деталізованим складанням. Проектування та розробка деталізованого складання та 3D-моделей буде в системі твердотільного моделювання – CAD SolidWork 2020 [18].

На рис. 3 представлені деякі розроблені 3D моделі апаратних модулів мобільного робота для вертикального переміщення.

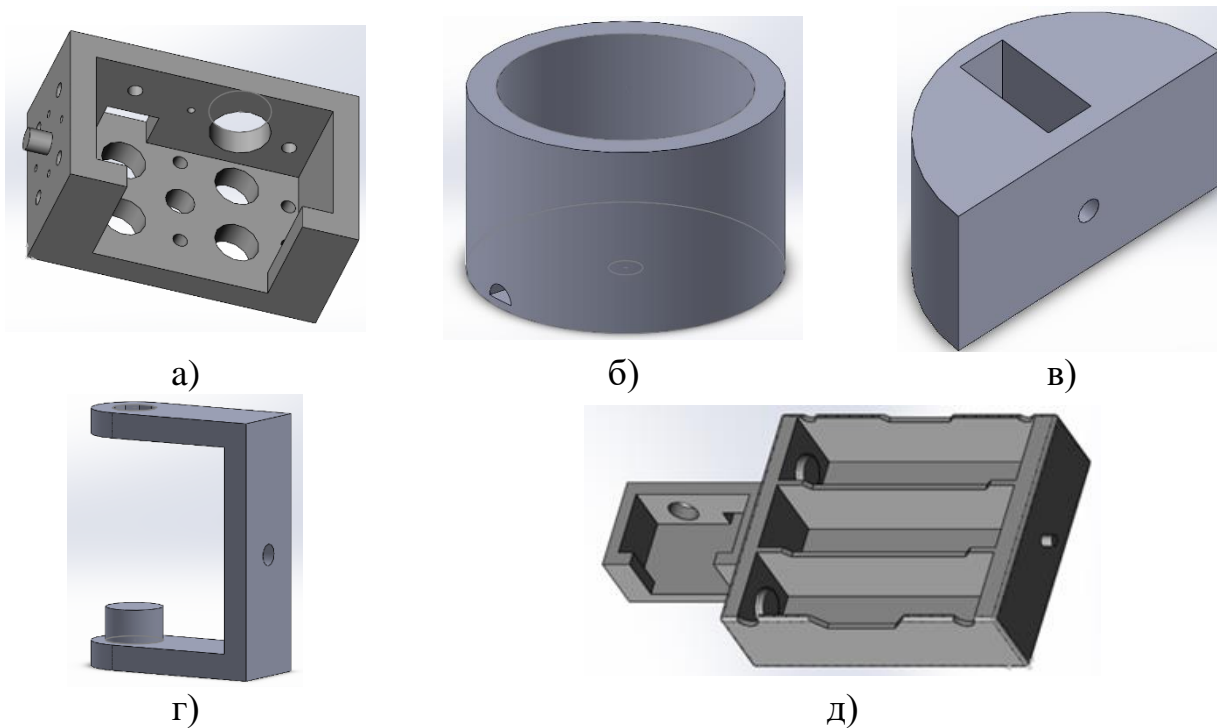


- а) модель ESP32-CAM;
- б) модель мікро-серводвигуна PZ-15320;
- в) модель електромагніта ELE-P30/22;
- г) модель плати зарядки / розрядки 3x Li-Ion;
- д) модель серводвигуна EMAX ES08MAII

Рисунок 3 – Розроблені 3D моделі в CAD SolidWork 2020

Базуючись на розроблених 3D-моделях апаратних модулів мобільного робота, можна розпочинати проектування корпусу та елементів з'єднання. Усі деталі корпусу спроектовані з розрахунком подальшого друку на 3D-принтері

методом Fused Deposition Modeling (FDM). На рис. 4 наведені спроектовані 3D-моделі елементів конструкції мобільного робота для вертикального переміщення.



а) 3D-модель корпусу для EMAX ES08MAII;  
 б) 3D-модель корпусу ELE-P30/22;  
 в) 3D-модель корпусу PZ-15320;  
 г) 3D-модель ланки;  
 д) 3D-модель корпусу для акумуляторів 3x18650 і EMAX ES08MAII

Рисунок 4 – 3D-моделі елементів конструкції мобільного робота

Наступним етапом у цьому дослідженні буде розробка деталізованої 3D-моделі складання в модулі Assembly для подальшого аналізу складання зі з'єднаннями в SolidWorks Simulation. Розроблена деталізована модель складання представлена на рис. 5.

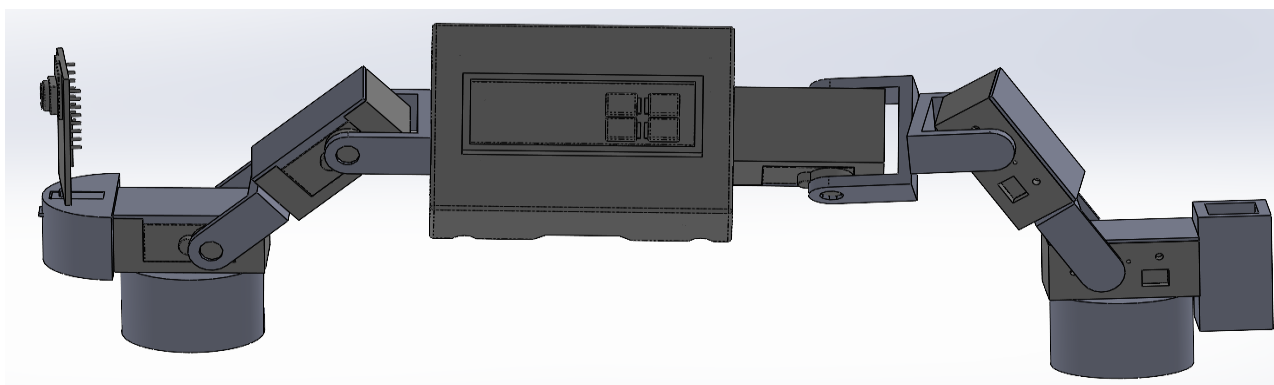


Рисунок 5 – Деталізована 3D-модель мобільного робота

Останнім етапом даного дослідження буде розробка схеми з'єднань модулів мобільного робота для вертикального переміщення, яка представлена на рис. 6. Для управління електромагнітами використовуватиметься NPN транзистор серії BD681G [19]. Живлення серводвигунів EMAX ES08MAII та PZ-15320 буде проводитись через інвертор AMS1117-5V та інвертор AMS1117-3.3V – для живлення ESP32-CAM [20].

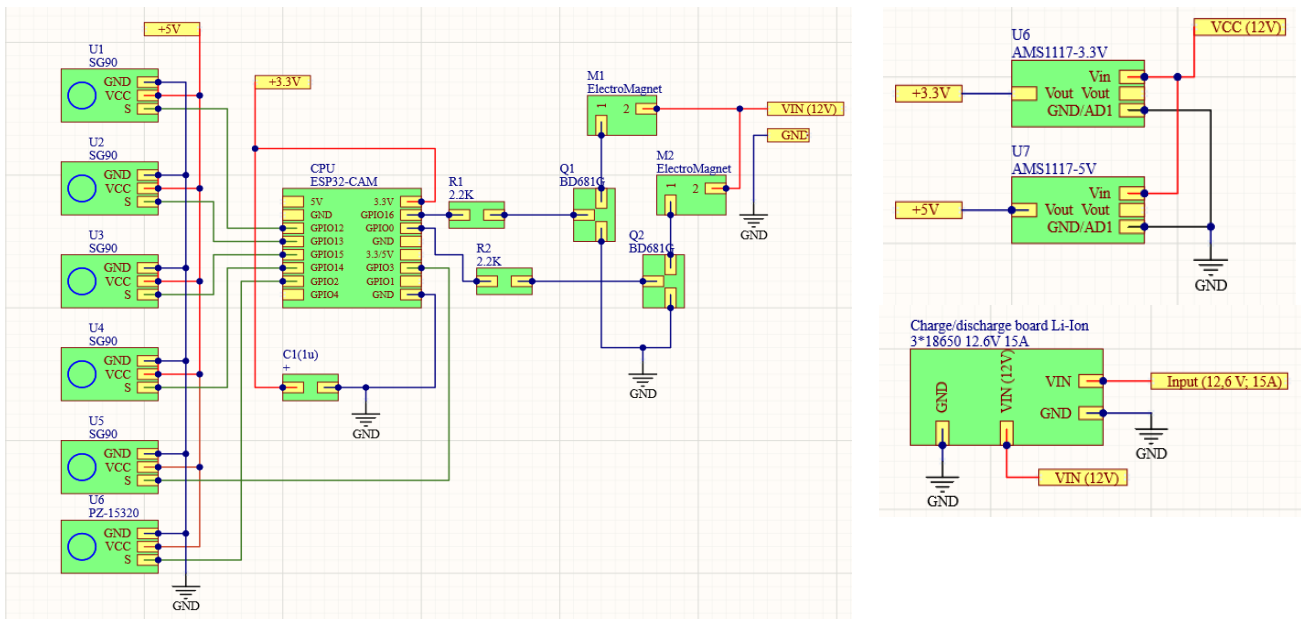


Рисунок 6 – Схема з'єднань модулів мобільного робота для вертикального переміщення

**Висновки.** В результаті проведених досліджень, авторами розроблена вдосконалена система управління мобільним роботом для вертикального переміщення на базі ESP323-CAM, яка, на відміну від існуючих аналогічних рішень, дозволяє реалізувати систему комп'ютерного зору, на базі якої реалізовані системи ідентифікації та розпізнавання об'єктів у робочій зоні робота. Ґрунтуючись на запропонованому рішенні було проведено вибір апаратних модулів. Розроблено 3D-моделі в CAD SolidWorks 2020, на базі яких було спроектовано 3D-моделі деталей корпусу та розроблено деталізовану 3D-модель складання. Розроблено схему електричну принципову системи управління та живлення мобільного робота в PCB Altium Designer 20.2. Спроектвані 3D-моделі, надалі, будуть використані для 3D-друку та розробки експериментального макета мобільного робота для вертикального переміщення, який вирішуватиме завдання моніторингу складнодоступних місць у несучих металевих фермах мостів.

#### Література:

1. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Klymenko, O., Demska, N., & Vzheshnievskyi, M. (2021). Evolutions of group management development of mobile robotic platforms in Warehousing 4.0. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, (4 (18)), 57-64.

2. Hendrik Unger, Tobias Markert, Egon Müller. (2018). Evaluation of use cases of autonomous mobile robots in factory environments. *Procedia Manufacturing*, Volume 17, Pages 254–261. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.10.044.
3. Stefano Mintchev, Dario Floreano. (2016) Adaptive Morphology: A Design Principle for Multimodal and Multifunctional Robots. *The IEEE Robotics & Automation Magazine*. Volume: 23, Issue:3, Page(s): 42 – 54. DOI: 10.1109/MRA.2016.2580593.
4. Suman Harapanahalli, Niall Mahony, Gustavo Velasco Hernandez, Sean Campbell, Daniel Riordan, Joseph Walsh. (2019). Autonomous Navigation of mobile robots in factory environment. *Procedia Manufacturing*, Volume 38, 2019, Pages 1524–1531. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.134.
5. Jong-Hoon Kim, Gokarna Sharma, S. Sitharama Iyengar. (2010). FAMPER: A fully autonomous mobile robot for pipeline exploration. *The 2010 IEEE International Conference on Industrial Technology*. 14–17 March, Via del Mar, Chile. DOI: 10.1109/ICIT.2010.5472748.
6. Soubia Noorain, Mamatha M, Zohra Jabeen. (2018). Under Ground Cable Fault Detection Using a Robot. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 05 Issue: 05. Page 3097–3099.
7. Golden Gate Bridge. [Electronic resource]. URL: <https://www.goldengate.org>. (Date of application: 30.03.2022)
8. Zhen Sun Eng & Hongbin Sun Eng. (2018). Jiangyin Bridge: An Example of Integrating Structural Health Monitoring with Bridge Maintenance. *Structural Engineering International*. Volume 28, Issue 3, Pages 353–356. DOI: 10.1080/10168664.2018.1462671
9. Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 3046116, DOI:10.1155/2022/3046116.
10. Jiang, W., Shi, Y., Zou, D., Zhang, H. and Li, H.J. (2022), "Research on mechanism configuration and dynamic characteristics for multi-split transmission line mobile robot", *Industrial Robot*, Vol. 49 No. 2, pp. 200–211. <https://doi.org/10.1108/IR-04-2021-0074>.
11. Lichun Han; Liming Wang; Jiahua Zhou; Yang Wang. (2021). The development status of ship wall-climbing robot. *The 4th International Conference on Electron Device and Mechanical Engineering (ICEDME)*. 19–21 March, Guangzhou, China. DOI: 10.1109/ICEDME52809.2021.00056
12. ESP32-CAM. [Electronic resource]. URL: [https://media.digikey.com/pdf/Data% 20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602\\_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602_Web.pdf). (Date of application: 30.03.2022)
13. PZ-15320 14x6.2x17.9mm 1.7g Digital Sub-Micro Servo For RC Airplane model. [Electronic resource]. URL: <https://www.zyhobby.com/products/6pcs-pz-15320-14x62x179mm-17g-digital-sub-micro-servo-for-rc-airplane-model>. (Date of application: 31.03.2022)
14. P30/22 Holding Electric Magnet , Lifting 10KG Solenoid Electromagnet DC 6V 12V 24V. [Electronic resource]. URL: <https://www.aliexpress.com/i/32442703079.html>. (Date of application: 31.03.2022).
15. Efest 18650 li-ion Battery 3.7 3000mah 35A IMR 35A. [Electronic resource]. URL: [https://www.alibaba.com/product-detail/Efest-18650-li-ion-Battery-3\\_1600230551691.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Efest-18650-li-ion-Battery-3_1600230551691.html). (Date of application: 31.03.2022).
16. Charge/discharge board Li-Ion 3\*18650 12.6V 15A (12812). [Electronic resource]. URL: <https://beegreen.com.ua/plata-zaryada-razryada-li-ion-3-18650-126v-15a-12812>. (Date of application: 31.03.2022).
17. MAX ES08MAII 12g Analog Metal Gear Servo [EMX-SV-0275]. [Electronic resource]. URL: <https://www.ebay.com/itm/EMX-SV-0275-EMAX-ES08MAII-12g-Analog-Metal-Gear-Servo/122561614622>. (Date of application: 31.03.2022).
18. SOLIDWORKS 2020: Improved Productivity. [Electronic resource]. URL: <https://www.solidworks.com/ru/media/solidworks-2020-improved-performance>. (Date of application: 31.03.2022).

19. BD681G Datasheet (PDF) - ON Semiconductor. [Electronic resource]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/172144/ONSEMI/BD681G.html>. (Date of application: 1.04.2022).

20. AMS1117 Datasheet (PDF) - Advanced Monolithic Systems. [Electronic resource]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/49118/ADMOS/AMS1117.html>. (Date of application: 1.04.2022).

### References:

1. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Klymenko, O., Demska, N., & Vzhesnievskyi, M. (2021). Evolutions of group management development of mobile robotic platforms in Warehousing 4.0. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, (4 (18)), 57-64.

2. Hendrik Unger, Tobias Markert, Egon Müller. (2018). Evaluation of use cases of autonomous mobile robots in factory environments. *Procedia Manufacturing*, Volume 17, Pages 254–261. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.10.044.

3. Stefano Mintchev, Dario Floreano. (2016) Adaptive Morphology: A Design Principle for Multimodal and Multifunctional Robots. *The IEEE Robotics & Automation Magazine*. Volume: 23, Issue:3, Page(s): 42 – 54. DOI: 10.1109/MRA.2016.2580593.

4. Suman Harapanahalli, Niall Mahony, Gustavo Velasco Hernandez, Sean Campbell, Daniel Riordan, Joseph Walsh. (2019). Autonomous Navigation of mobile robots in factory environment. *Procedia Manufacturing*, Volume 38, 2019, Pages 1524–1531. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.134.

5. Jong-Hoon Kim, Gokarna Sharma, S. Sitharama Iyengar. (2010). FAMPER: A fully autonomous mobile robot for pipeline exploration. *The 2010 IEEE International Conference on Industrial Technology*. 14–17 March, Via del Mar, Chile. DOI: 10.1109/ICIT.2010.5472748.

6. Soubia Noorain, Mamatha M, Zohra Jabeen. (2018). Under Ground Cable Fault Detection Using a Robot. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 05 Issue: 05. Page 3097–3099.

7. Golden Gate Bridge. [Electronic resource]. URL: <https://www.goldengate.org>. (Date of application: 30.03.2022)

8. Zhen Sun Eng & Hongbin Sun Eng. (2018). Jianguyin Bridge: An Example of Integrating Structural Health Monitoring with Bridge Maintenance. *Structural Engineering International*. Volume 28, Issue 3, Pages 353–356. DOI: 10.1080/10168664.2018.1462671

9. Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 3046116, DOI:10.1155/2022/3046116.

10. Jiang, W., Shi, Y., Zou, D., Zhang, H. and Li, H.J. (2022), "Research on mechanism configuration and dynamic characteristics for multi-split transmission line mobile robot", *Industrial Robot*, Vol. 49 No. 2, pp. 200–211. <https://doi.org/10.1108/IR-04-2021-0074>.

11. Lichun Han; Liming Wang; Jiahua Zhou; Yang Wang. (2021). The development status of ship wall-climbing robot. *The 4th International Conference on Electron Device and Mechanical Engineering (ICEDME)*. 19–21 March, Guangzhou, China. DOI: 10.1109/ICEDME52809.2021.00056

12. ESP32-CAM. [Electronic resource]. URL: [https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602\\_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602_Web.pdf). (Date of application: 30.03.2022)

13. PZ-15320 14x6.2x17.9mm 1.7g Digital Sub-Micro Servo For RC Airplane model. [Electronic resource]. URL: <https://www.zy hobby.com/products/6pcs-pz-15320-14x62x179mm-17g-digital-sub-micro-servo-for-rc-airplane-model>. (Date of application: 31.03.2022)

14. P30/22 Holding Electric Magnet , Lifting 10KG Solenoid Electromagnet DC 6V 12V 24V. [Electronic resource]. URL: <https://www.aliexpress.com/i/32442703079.html>. (Date of application: 31.03.2022).



15. Efest 18650 li-ion Battery 3.7 3000mah 35A IMR 35A. [Electronic resource]. URL: [https://www.alibaba.com/product-detail/Efest-18650-li-ion-Battery-3\\_1600230551691.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Efest-18650-li-ion-Battery-3_1600230551691.html). (Date of application: 31.03.2022).

16. Charge/discharge board Li-Ion 3\*18650 12.6V 15A (12812). [Electronic resource]. URL: <https://beegreen.com.ua/plata-zaryada-razryada-li-ion-3-18650-126v-15a-12812>. (Date of application: 31.03.2022).

17. MAX ES08MAII 12g Analog Metal Gear Servo [EMX-SV-0275]. [Electronic resource]. URL: <https://www.ebay.com/itm/EMX-SV-0275-EMAX-ES08MAII-12g-Analog-Metal-Gear-Servo/122561614622>. (Date of application: 31.03.2022).

18. SOLIDWORKS 2020: Improved Productivity. [Electronic resource]. URL: <https://www.solidworks.com/ru/media/solidworks-2020-improved-performance>. (Date of application: 31.03.2022).

19. BD681G Datasheet (PDF) - ON Semiconductor. [Electronic resource]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/172144/ONSEMI/BD681G.html>. (Date of application: 1.04.2022).

20. AMS1117 Datasheet (PDF) - Advanced Monolithic Systems. [Electronic resource]. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/49118/ADMOS/AMS1117.html>. (Date of application: 1.04.2022).