

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ВОЛИНСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ**

Кафедра експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій

На правах рукопису

ВАЩУК ОЛЕКСАНДР ВАЛЕРІЙОВИЧ

**ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МЕТОДИКА
ВИКОРИСТАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ПЛАТФОРМ
В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ З ФІЗИКИ**

Спеціальність 014 «Середня освіта (Фізика)»

Робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр»

Науковий керівник:

МАРТИНЮК ОЛЕКСАНДР СЕМЕНОВИЧ,

доктор педагогічних наук, доцент,
професор кафедри експериментальної фізики,
інформаційних та освітніх технологій

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол № _____
засідання кафедри експериментальної фізики,
інформаційних та освітніх технологій
від _____ 2020р.

Завідувач кафедри:
доц. Галян В. В. _____

ЛУЦЬК – 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1.....	8
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ РОБОТОТЕХНІКИ В ОСВІТНІЙ ГАЛУЗІ.....	8
1.1. Історія розвитку робототехніки та концепції впровадження в освітню галузь.	8
1.2. Технології STEM в освіті: теоретичні основи впровадження та перспективи використання.	10
1.3. Тенденції розвитку робототехніки в контексті STEM- орієнтованого навчання.....	12
1.4. Приклади використання засобів робототехніки в освітньому процесі	14
1.4.1. Конструктори LEGO® Education та методика їх використання в освітній та науково дослідній роботі учнів.	15
1.4.2. Arduino як альтернативна платформа в галузі робототехніки та проектуванні роботизованих систем.	16
РОЗДІЛ 2.....	19
ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ "ГЕКСАПОД"	19
2.1. Теоретичні основи проектування платформи "Гексапод".	19
2.2. Проектування та монтаж роботизованої платформи "Гексапод"	20
2.3. Складання пульта керування	31
РОЗДІЛ 3.....	36
МОТИВАЦІЯ УЧНІВ ДО ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ ЗАСОБАМИ ОСВІТНЬОЇ РОБОТОТЕХНІКИ (НА ПРИКЛАДІ ПЛАТФОРМИ "ГЕКСАПОД").....	36
3.1. Апаратне забезпечення "ГЕКСАПОДА" як засіб вивчення фізичних процесів	36
3.2. Методичні особливості використання платформи в освітньому процесі з фізики.....	40
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ	51
ДОДАТКИ	54

АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено можливості та ефективність використання засобів STEM-технологій в освітньому процесі. Одним із найбільш активних в сенсі розвитку є робототехнічний напрямок, який нині став основним складником в сфері інформаційно-комунікаційних технологій. Робототехніка – потужний універсальний інструмент для освіти, який не обмежується віковими межами. За допомогою освітньої робототехніки можна виявити технічні здібності учнів і розвивати їх. Тому актуальною є проблема використання засобів робототехніки в освітньому процесі на основі впровадження інноваційної стратегії. У роботі проаналізовано історію розвитку робототехніки, концепції впровадження в освітню галузь та тенденції розвитку робототехніки в контексті STEM-орієнтованого навчання. Наведено приклади використання засобів робототехніки в освітньому процесі. Описано послідовність виготовлення та програмування роботизованої платформи "Гексапод".

Запропоновано рекомендації щодо використання платформи "Гексапод" в освітньому процесі з фізики: апаратне забезпечення як засобу вивчення фізичних процесів, методичні особливості використання платформи в освітньому процесі з фізики. Адаптація вивчення фізики до вимог сучасного розвитку техніки актуалізує проблему гармонічного впровадження робототехніки в освітній процес та позаурочну роботу з фізики, конструктивно-технічній та науково-дослідницькій роботі учнів закладів загальної середньої освіти. Успішне використання засобів освітньої робототехніки вимагає подальшого дослідження та апробації з метою удосконалення та підвищення їх ефективності.

Ключові слова: освітній процес, STEM-технології, освітня робототехніка, робототехнічні платформи.

SUMMARY

The possibilities and efficiency of using STEM-technologies in the educational process are investigated in the work. One of the most active in terms of development is the robotics field, which has now become a major component in the field of information and communication technologies. Robotics is a powerful universal tool for education that is not limited by age. With the help of educational robotics, you can identify the technical abilities of students and develop them. Therefore, the problem of using robotics in the educational process based on the implementation of innovation strategy is relevant. The paper analyzes the history of robotics development, the concept of implementation in the field of education and trends in robotics development in the context of STEM-oriented learning. Examples of the use of robotics in the educational process are given. The sequence of manufacturing and programming of the robotic platform "Hexapod" is described. Recommendations for the use of the platform "Hexapod" in the educational process in physics: hardware as a means of studying physical processes, methodological features of the use of the platform in the educational process in physics. Adaptation of the study of physics to the requirements of modern technology actualizes the problem of harmonious implementation of robotics in the educational process and extracurricular work in physics, design and technical and research work of students of general secondary education. Successful use of educational robotics tools requires further research and testing to improve and enhance their effectiveness.

Keywords: educational process, STEM-technologies, educational robotics, robotic platforms

ВСТУП

Сучасні вимоги до підготовки висококваліфікованих фахівців передбачають впровадження та використання сучасних методів та засобів навчання, вивчення новітнього обладнання та технологій. Ми живемо в епоху, коли протягом декількох десятиліть з'являються та зникають цілі види технічних засобів. В таких умовах цінним є не тільки набуття майбутніми спеціалістами знань та досвіду у використанні сучасних засобів навчання, але й уміння адаптуватись до впровадження нових технологій майбутнього.

У процесі стрімкого збільшення інформації важливим є акцентування уваги на можливість використання новітньої техніки в якості робочого інструменту. Одним із найбільш активних в сенсі розвитку є робототехнічний напрямок, який за останні декілька років став основною складовою в сфері інформаційно-комунікаційних технологій. Тому **актуальною** є проблема використання засобів робототехніки в освітньому процесі на основі впровадження інноваційної стратегії, яка передбачає можливість ознайомлення із технологіями, які активно розвиваються сьогодні, а завтра стануть невід'ємною частиною нашого життя.

Об'єкт дослідження – освітній процес із фізики у закладах загальної середньої освіти.

Предмет дослідження: робототехнічні платформи освітнього призначення.

Мета роботи: проаналізувати можливості та ефективність використання засобів STEM-технологій в освітньому процесі; виготовити та провести апробацію роботизованої платформи "Гексапод"; сформулювати методичні рекомендації щодо використання платформи "Гексапод" в освітньому процесі з фізики.

Відповідно до поставленої мети було визначено такі **завдання** дослідження:

- 1) опрацювати наукову та технічну літературу про методи використання робототехніки в освітній галузі;

2) дослідити апаратні та програмні засоби для проектування робототехнічних платформ;

3) роботизованої платформи "Гексапод" та запропонувати методичні рекомендації щодо використання платформи "Гексапод" в освітньому процесі з фізики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у теоретичному обґрунтуванні та практичній реалізації можливостей застосування засобів робототехніки в освітньому процесі з фізики, конструктивно-технічній та науково-дослідницькій роботі учнів закладів загальної середньої освіти.

Практичне значення одержаних результатів визначається тим, що:

- розроблено, виготовлено та проведено апробацію роботизованої платформи "Гексапод";
- запропоновано методичні рекомендації щодо використання платформи "Гексапод" в навчальній та конструктивно-технічній діяльності учнів закладів загальної середньої освіти.

Особистий внесок автора полягає в аналізі можливостей та обґрунтуванні доцільності проектування та впровадження робототехнічних платформ у освітньому процесі з фізики; використанні робототехнічних платформ для підвищення мотивації учнів до вивчення фізики; у розробленні рекомендацій щодо проектування та виготовлення роботизованих платформ.

Апробація результатів дослідження. Результати наукових досліджень оприлюднено на:

- Міжнародній науковій Інтернет конференції "Інформаційне суспільство: технології економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 36) 6 березня 2019р., м. Тернопіль [26];
- Міжнародній науковій Інтернет конференції "Інформаційне суспільство: технології економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 37) 2 квітня 2019р., м. Тернопіль [13];
- Міжнародній науковій Інтернет конференції "Інформаційне суспільство: технології економічні та технічні аспекти становлення" (випуск

54) 10 грудня 2020р., м. Тернопіль[24];

- Всеукраїнська науково-практична Інтернет конференція з міжнародною участю, присвячена 90-річчю від дня народження професора Калапуші Леоніда Романовича (5-7 червня 2020 року), м Луцьк[1].

Основні положення та результати дослідження опубліковані в збірниках матеріалів конференцій.

Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ РОБОТОТЕХНІКИ В ОСВІТНІЙ ГАЛУЗІ

1.1. Історія розвитку робототехніки та концепції впровадження в освітню галузь.

Робототехніка передбачає розроблення та створення автоматизованих технічних систем (роботів) для кращої результативності на підприємствах, для покращення безпеки людини та для виконання поставлених завдань в місцях, де людина немає змоги перебувати. Форма роботів може бути будь-якою.

Термін робототехніки був запроваджений письменником Айзек Азімом у 1942 році. А першим поштовхом розвитку сучасної робототехніки стали принципи кібернетики Норберта Вінера, сформовані 1948 року. А першу у світі «Енциклопедію кібернетики» у 2 томах було видано у Києві під керівництвом Глушкова у 1973 році, чим варто пишатись. Повністю автоматичний робот було створено у 1961 році з цифровим керуванням. А якщо говорити про сьогодні, то роботи все більше замінюють людину в різних видах діяльності.

Для педагогів, які викладають хімію, біологію, фізику, проектування дуже важливе, оскільки завдяки цьому педагог може перейти з теоретичного подання матеріалу в особисто орієнтований підхід.

На сьогодні проектні технології у освітньому процесі застосовують за такими принципами: гуманізм, природна відповідність, наочність, науковість, системність індивідуальність, зв'язок навчання з життям тощо, також принципів навчального проектування, дотримання яких є найбільш продуктивним у функціонуванні системи проектної діяльності.

Вивчаючи матеріали по застосуванню проектної діяльності в освіті, мною було з'ясовано, що є декілька підходів для адаптування у класно-урочну систему навчання:

- робота з проектом поєднує урочну та позаурочну діяльність учнів;

- проект виконується в позаурочний час;
- проектна діяльність виконується під час уроку.

А також проаналізовано монографічні видання Н. П. Наволокової [18] та О. М. Пехоти [20], де досить зрозуміло й чітко розкрито особливості проектної технології.

Також з цим у працях доведено, що метою проектного навчання є створення умов за яких учні:

- самостійно отримують знання з різних джерел для виконання проекту;
- уміло використовують здобуті самостійно знання для постановлених завдань;
- отримують практичні уміння в роботі з різними групами;
- розвивають свої дослідницькі уміння.

На мою думку, педагоги застосовуючи проектну технологію навчання, намагаються оптимізувати програмний матеріал навчального предмету. В даному випадку педагог обирає розділ чи тему для розгортання проектної роботи. Учні мотивуються до роботи над проектом, оскільки учні вирішують певні проблеми чи роблять такі завдання, які їм симпатизують. Робота над проектом триває протягом 3-4 занять, на яких викладач в ролі координатора, та колеги, які направляють та допомагають.

Для реалізації проекту на уроці потрібно дотримуватись таких правил:

- розповісти учням про сутність проекту та проектну діяльність;
- перед початком проекту, обговорити проблеми, які учні мають дослідити;
- узгодити теми для кожної групи, та вибрати таку тему кожній групі, яка буде мотивувати учнів;
- створити певну послідовність дій для вирішення певного питання;
- показати учням приклад дослідження даної теми;
- обговорити джерела інформації;
- розробка тез доповіді для презентації результатів;

- презентація та захист проекту.

А також результативність проекту оцінюється по таких пунктах:

- за змістом: оцінювання знань, глибину розуміння поставленої проблеми та наукове обґрунтування отриманих результатів;
- співпраця: робота в групі, правильна організація до роботи над проектом та розподіл обов'язків таким чином, щоб кінцевий результат був максимальним;
- презентація проекту: доступне пояснення виходу з поставленої проблеми проекту та якісне оформлення.

Також варто пам'ятати про чіткий та якісний кінцевий результат. Робота потребує практичної діяльності, наукового підходу для отримання інформації, також у групі має панувати наукова-пошукова атмосфера, де усі учасники мають рівні права та пропонують свої ідеї для вирішення. Саме така робота стимулює працювати в колективах та бути у ролі активного учасника. Але нас цікавить робототехніка в освітньому процесі, отож далі про неї.

1.2. Технології STEM в освіті: теоретичні основи впровадження та перспективи використання.

STEM-освіта - (від англ. – Science, Technology, Engineering, Mathematics – наука, технологія, інженерія (технічна творчість), математика) це напрям в освіті, в якому посилюється природничо-науковий компонент із застосуванням новітніх технологій.

STEM-освіту в розвинутих країнах підтримують на найвищому державному рівні, оскільки вона є основою для підготовки професіоналів у галузі високих технологій [25]. Тому такі країни як Дані, США, Японія, Німеччина, Франція, Великобританія та інші розвивають державні програми в напрямку STEM-освіти [6; 17].

STEM – напрям у навчальній системі, який використовується у різних ланках освіти з метою отримання у дітей навичок, потрібних для успішності у XXI столітті та інноваційного розвитку в цілому. Цей напрям виник на запит

сучасного бізнесу, що потребує професіоналів новітніх галузей. Він передбачає поєднання природничо-математичних наук, та інженерії. STEM-освіта є міждисциплінарною, що є новацією в освітньому процесі [14]. Основною проблемою для педагогів під час розроблення STEM програм є інтеграція навчальних дисциплін, які водночас є близькими дисциплінами а з іншого боку самостійними.

Отож, відбувається поєднання технологій, математики, наукового методу та проектування в основі розроблення STEM-програми.

STEM – освіта базується на використанні обладнання та засобів пов'язаних з електротехнікою, радіотехнікою, енергетикою, моделюванням, інформатикою, науковими дослідженнями у галузі енергозберігаючих технологій, робототехнікою, радіоелектронікою, космонавтикою, авіацією, інтелектуальними системами, нано-технологіями [11].

Спираючись на досвід зарубіжних країн, впровадження STEM-освіти змінює економіку країни, робить її більш конкурентоспроможною та інноваційною. Згідно досліджень вчених залучення тільки 1% населення до STEM-освіти можна долучити до економіки до 50 млрд. доларів. Потреби на STEM-фахівців зростають з кожним роком на багато швидше інших професій, оскільки STEM розвиває здібності до креативної діяльності та досліджень, уміння працювати в колективі та команді, експериментування, сприяє формуванню аналітичного, критичного та інноваційного мислення [8].

В Україні є великий потенціал для розвитку STEM-освіти, опираючись на інформацію з Всесвітнього економічного форуму [21]. А саме у показнику «Якість математичної та природничої освіти» Україна посідає 27 місце з 137 країн (статистика за 2017-2018 рр.).

Нині освіта України перебуває в розробці та впроваджені нових стандартів нової школи. Хоча STEM-освіта реалізується в багатьох українських школах, це в основному в позаурочний час, зокрема: природничо-математичні олімпіади, заняття Малої академії наук, різноманітні наукові конкурси для учнів та студентів, фестивалі наук, тощо.

На основі зарубіжного досвіду в Україні актуально реформувати математично-природничу та інженерну освіту, а також перевіреною практикою STEM-освіту.

В Україні вже в даному напрямку прямують. А саме в 2015 році було створено коаліцію STEM-освіти в Україні, яка має такі основні завдання:

- реалізація програм для впровадження новітніх методів навчання у закладах освіти;
- надання можливості та сучасного обладнання учням та студентам для проведення дослідницьких та експериментальних робіт;
- профорієнтація;
- проведення олімпіад, конкурсів та змагань для самореалізації;
- міжнародне співробітництво.

Також STEM-освіта включає у себе робототехніку. Робототехніка це потужний напрям в який є універсальним інструментом для освіти, який не обмежується віком, від учнів початкових класів до студентів та науковців. За допомогою освітньої робототехніки можна виявити технічні нахили учнів і розвивати їх з самого дитинства. Тому в край важливою постає проблема в підготовці фахівців в галузі робототехніки, а також в підготовці майбутніх викладачів робототехніки.

1.3. Тенденції розвитку робототехніки в контексті STEM-орієнтованого навчання

Робототехніка входить до таких галузей, які на сьогоднішній день розвиваються дуже інтенсивно. Про це навіть свідчать матеріали Всесвітнього робото технічного звіту Міжнародної федерації робототехніки за 2018 рік (жовтень 2018, м. Токіо, Японія).

На сьогодні в промисловості новітні роботи та автоматизовані системи збору даних мають великий попит в різних сферах діяльності людини:

- медицина (роботи для мікрохірургії, кур'єри в лікарнях, надсучасні мікроскопи, літаючі швидкі);

- космічна галузь (роботизовані апарати для збору даних);
- промисловість (роботи, які мають можливість працювати в таких умовах, при яких людина не має змоги фізично перебувати)
- побут (роботи лакеї,пилососи, кавоварки);
- авіація (безпілотні апарати).

Робототехніка вже помітно змінює наше життя. Але ж роботи створені людиною й досконалість їх полягає в професіоналізмі інженерів та програмістів.

Підготовка майбутніх фахівців має виконуватись ще з початкової школи. Тому на сьогодні постає питання впровадження робототехніки в навчальний процес закладів початкової та середньої освіти.

Було зазначено раніше, швидкий розвиток робототехніки, ІТ-технологій, нано-технологій спричиняє потребу у кваліфікованих спеціалістах. Для реалізації цього потрібно якісно навчати учнів STEM-предметами – програмування, фізики, математики, інженерії, тощо.

- Фізика (електроніка, радіоелектроніка що є основою роботизованих систем).
- Математика (просторові поняття, для зрозуміння способів руху роботів).
- Технології та дизайн (конструювання та вигляд роботів).
- ІТ (програмування автоматизованих систем).

Робототехніка є прикладною наукою, в якій в основі лежить проектування, конструювання, експлуатація та використання роботів. Навчальна робототехніка надає учням та студентам практичного досвіду в функціонуванні автоматизованих систем принципу їх роботи на елементарному рівні, тобто переході від аналогової інформації в цифрову. Використовувати попередньо набуті знання в реальних ситуаціях. А також в перспективі створювати власні стартапи. Робототехніка дає можливість активно працювати

учневі чи студентів на занятті, як співавтор певного проекту, а не як пасивний здобувач знань [9].

Освітня робототехніка (educational robotics) – це напрям навчання учнів, у якому використовуються знання STEM-предметів (фізики, математики, технологій), інформатики та кібернетики [25; 17; 9; 4; 7]. Даний напрям має ідеї навчання технологій, які будуть потрібні в майбутньому, а також дозволяє долучати учнів різної вікової групи до інноваційної творчості.

Враховуючи матеріали досліджень [25; 17; 9; 4; 7] та особистий досвід, виділимо мету та завдання освітньої робототехніки у освітній процес закладів освіти:

- формування інтересу до природничих наук, що відповідають ідеям STEM-освіти;
- формування навичок конструювання та уміння вирішувати конструктивні проблеми;
- формування "особистого я";
- формування в учнів уміння працювати з різними джерелами, аналізувати їх та на основі здобутих знань створювати власні розробки;
- формування в учнів логічного, креативного мислення;
- формування в учнів мотивації до навчання.

В Україні розвиток освітньої робототехніки в робочому навчальному плані з'являється епізодично, і то в межах певного предмету. В позашкільній освіті освітня робототехніка розвивається, але масовості такої як під час занять в школі чи університеті немає.

1.4. Приклади використання засобів робототехніки в освітньому процесі

Враховуючи те, що робототехніка відіграє важливу роль у багатьох галузях діяльності людини, логічно, що й вплив в майбутньому буде посилюватися, тому учнів варто готувати вже.

1.4.1. Конструктори LEGO® Education та методика їх використання в освітній та науково дослідній роботі учнів.

Компанія LEGO® (LEGO® Education) розробила на основі конструктора для дітей, набір якій містить деталі, двигуни, різноманітні датчики, програмований мікрокомп'ютер та методичні матеріали. Також компанією було створено програмне забезпечення для мікрокомп'ютера у вигляді блок схем, до речі даний вигляд чудово підходить для школярів початкових класів, оскільки є відносно простим і зрозумілим і водночас розвиває логічне мислення у дітей. В даному програмному забезпеченні кожен учень має можливість самостійно програмувати і навчатись, оскільки в програмі є мануал – систематизований підбір навчальних матеріалів, які в захоплюючій формі знайомлять з навчальним матеріалом. Вік учнів, які навчаються за цими програмами від 3-17 років. Також Міністерством освіти і науки України підтвердило відповідність педагогічним вимогам та рекомендує в закладах освіти України навчальні конструктори LEGO® Education (свідоцтво №06/34 від 27. 06. 2018р.).

Компанія «Інноваційні освітні рішення» розробила такі методики викладання робототехніки на основі набору Mindstorms EV3 Education:

- «Програма курсу за вибором «Робототехніка» для учнів 8-9 класів» (схвалено для використання в загальноосвітніх навчальних закладах комісією з трудового навчання і креслення Науково-методичної Ради з питань освіти Міністерства освіти і науки України (лист №22.1/12-Г-199 від 10.04.2018);
- навчальний посібник «Технології і дизайн на основі LEGO» для 1-го класу НУШ (схвалено для використання у закладах освіти комісією з педагогіки та методики початкового навчання Науково-методичної ради з питань освіти Міністерства освіти і науки України (лист ДНУ «Інституту модернізації змісту освіти» від 02.09.2018 р. № 22.1/12-Г-817).

Також компанія LEGO® Education впровадила ще один вид курсу Developer, 3D моделювання та розробка ігор.

Під час його учні будуть освоювати 3D дизайн і створювати ігри. Він призначений для дітей віком від 13 років і включає у себе 38 занять. Діти

будуть вчитись проектувати в програмі Fusion 360 19 занять, пройдуть шлях від простих креслень до складних рухомих механізмів. Інші 19 занять розробка ігор. Учнів познайомлять з основами мови програмування C# а також навчать працювати в середовищі програмування MonoDevelop та VisualStudio.

Завдяки освітнім програмам від LEGO® Education, вже більше ніж у 200 школах України діти у STEM-форматі вивчають предмети природничо-наукового і технічного напрямку, створюють власні проекти в рамках міжнародної програми FIRST® LEGO® League та World Robot Olympiad, здобуваючи нагороди на Всеукраїнських олімпіадах і чемпіонатах з робототехніки. За допомогою програм від LEGO® Education діти мають змогу оволодіти передовими навичками XXI століття [15].

1.4.2. Arduino як альтернативна платформа в галузі робототехніки та проектуванні роботозованих систем.

Ще один напрямок освітньої робототехніки це програмування за допомогою апаратно-обчислювальної платформи «**Arduino**», основним компонентами якої є плата мікроконтролера (можна сказати міні процесор), а також входи на вхідні та вихідні дані, та середовище програмування «**Arduino IDE**».

Arduino – це платформа створена для розробок різноманітних електронних пристроїв. Має можливість зчитувати з навколишнього

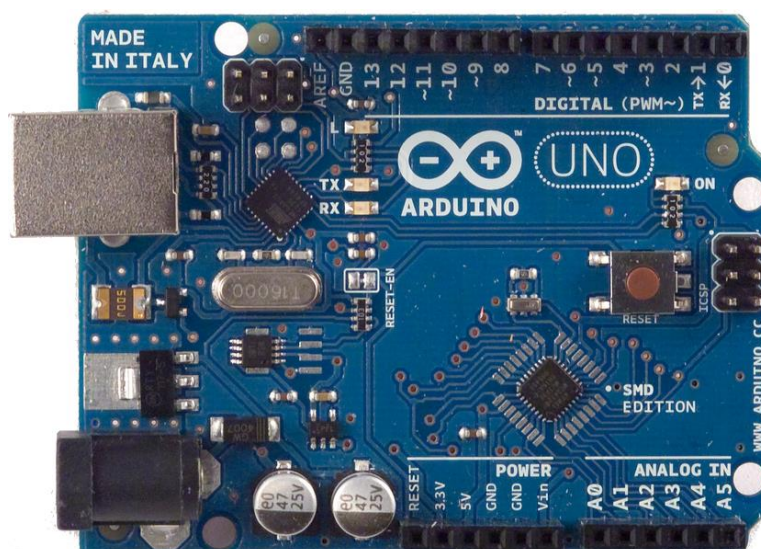


Рис. 1.1. Плата Arduino Uno

середовища інформацію за допомогою додаткових модулів, а також керувати світло діодами, моторами, сервомоторами, тощо.

Мікроконтролер на платі програмується за допомогою мови програмування Arduino (це мова програмування заснована на C та C++ тільки з обмеженим функціоналом) та середовищем для програмування Arduino IDE, яке складається з вбудованого текстового редактора програмного коду, області виведення тексту, панелі інструментів. Завантаження скетчу (програми) відбувається досить просто, за допомогою USB. Скетч пишеться у текстовому редакторі, що має інструменти вирізки, вставки, зміни тексту, пошуку.

На даний час існує багато модулів для плат Arduino, відрізняються вони за призначенням (датчики вологості, температури, світлості, тиску, відстані, тощо). Також сама плата Arduino має різноманітні модифікації (модифікації стосуються розмірів плат та функціоналу).

Роботу над проектами за допомогою Arduino можна організувати так:

- **Організаційно-підготовчий етап**

На цьому етапі учнями чи студентами описується мета та завдання.

- **Конструкторський етап**

Учасники проекту систематизують та відображають необхідні складові пристрою, здійснюють побудову схеми підключення модулів та інших складових до плати Arduino, а також розробляють програмне забезпечення для роботи пристрою.

- **Технологічний етап**

Під час даного етапу учні здійснюють підключення усіх компонентів пристрою, завантажують скетч, а також будують корпус до пристрою. Перевіряють пристрій на помилки в коді та дефекти корпусу.

- **Заключний етап**

На даному етапі учасники проекту роблять висновки про даний прилад, а також аналізують його технічні можливості з тими, які були поставлені перед початком виконання роботи над ним.

Отож, використання проектів з Arduino дає змогу учням працювати з високими технологіями, вчитись логічно мислити, а також здобути початкові уміння в програмуванні. Дана платформа є більш складною порівняно з LEGO® Education, тому на мій погляд, доцільно було б впроваджувати ці платформи в освітній процес для вивчення фізики, розпочинаючи саме з 7 класу. Водночас за допомогою програмного середовища Arduino IDE можна створювати складні та якісні програми.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ "ГЕКСАПОД"

2.1. Теоретичні основи проектування платформи "Гексапод".

Гексапод (Hexapod)- це механічний транспортний засіб, який має 6 ніжок. Хоча достатньо 2-3 ніжок для стабільної стійкості певної платформи чи робота, але з 6 ніжками платформа чи робот має велику гнучкість і дуже хорошу стійкість, навіть якщо вийде декілька ніжок з ладу він все ж буде на ходу.



Рис. 2.1. Приклад платформи "Гексапод"

Spacebit – британська компанія, яка оголосила що відправить 2021 року на Місяць марсохід. Компанія планує відправити доволі не звичний марсохід, він сильно відрізняється від тих які зазвичай відправляються на Місяць, та інші планети [12].

Марсохід Spacebit є не колісним, а більш схожим на павука, з чотирма ніжками. Офіційна назва марсохода Asaguma, який побудований з моноблочної рами CubeSat, що зазвичай використовується для маленьких супутників. Цей робот важить всього 1,3 кг. І працює на сонячній енергії.

Дизайн робить його бюджетним, місія буде запущена у рамках першої космічної місії ULA Vulcan, у третьому кварталі 2021 року. Планується, що в

ході першої демонстраційної місії марсохід переміститься на 10 метрів і буде передавати на землю відео в форматі Full HD і 3D-дані зі своїх бортових сенсорів.

Велика перевага марсохода в тому, що він пересувається на 4-х ніжках, він може долати пересічну місцевість і досліджувати ті місця, які звичайні марсоходи не мають змоги.

2.2. Проектування та монтаж роботизованої платформи "Гексапод"

Дану конструкцію було розроблено американськими винахідниками, дизайн, фізичну складову, програмне забезпечення, тощо [10]. Було витрачено багато зусиль під час пошуків даного проекту, оскільки потрібно було вибрати такий проект, який мав бути успішним і мав мотивувати учнів до його виконання. Пошук деталей створив певні проблеми, оскільки знайти такий сайт де розміщені усі необхідні компоненти для даного проекту не можливо, відповідно і їх вартість більша. З іншого боку, менш вартісні товари можна знайти на китайських сайтах, однак виникають труднощі з їх доставкою: вони дуже довго доставляються до покупця або не приходять взагалі. Отож, більш надійним та швидким, але дорожчим вирішенням поставленої проблеми є замовлення на вітчизняних сайтах. Тому було замовлено компоненти на 3 різних українських сайтах. А власне деталі корпусу було надруковано на 3D принтері.

Апаратне забезпечення робота:

- 1-х Arduino Nano, 5 В, 16 МГц, ATMEGA328;
- 1-х п'єзо зумер з 3-ма виводами;
- 1-х Поворотний потенціометр, 10 кОм, діаметр вала, на який накручується гайка бмм, а також ковпачок на нього;
- 1-х HC05 Bluetooth модуль;
- 1-х 16-канальний PWM контролер PCA9685;
- 12-х сервомотори MG90;

- 1-х Вимикач;
- 2-х коробки до акумулятора 18650, а також акумулятори 18650;
- З'єднувальні проводи (тато-мама, мама-мама), припій, паяльник, флюс, термозбіжна трубка, тощо.

-

Деталі корпусу:

- 1-х Шасі (додаток 1);
- 1-х Кришка (додаток 2);
- 6-х Ніжок (додаток 3);
- 12-х Фіксатори (додаток 4);
- 1-х Тримач плат (додаток 5);
- 2-х Фіксатори (додаток 6).

Додаткові інструменти та деталі:

- 12-х Гвинтів M2x10;
- 5-х Гвинтів M3x10;
- 4-х Гвинти M4x30;
- 1-х Шестигранний ключ 2-3-4мм;
- Гайки під M4 та M3.

Для друкування корпусу на 3D принтері не всі принтери підійдуть.

Мінімальні вимоги для принтера:

- Розмір платформи в площині (x-y) не може бути меншим 150мм, оскільки основа гексаподу має такі розміри;
- Бажано обирати пластик ABS, даний вид пластику зарекомендував себе добре під час побудови робота.

-

Етапи проектування та виготовлення платформи.

Для початку було перевірено сервомотори, використовуючи плату Arduino Nano, було завантажено просту програмку для повороту сервомотора

на певний кут та підключено, якщо мотор здійснив рух на вказаний кут, тоді він справний (зображення програми для перевірки сервомоторів знаходиться у додатку). Отож мотори справні, дотримуючись інструкції було перейдено до наступного кроку.

Крок 1: монтаж гвинтів для аксесуарів.

Встановили 4 болти M4x30 в отвори під аксесуари, це є передня частина робота. Затягнули болти гайками, болти встановлюються з середини, на два нижні болти накручуються ще по одній гайці. На рис. 2.2. показаний процес роботи.

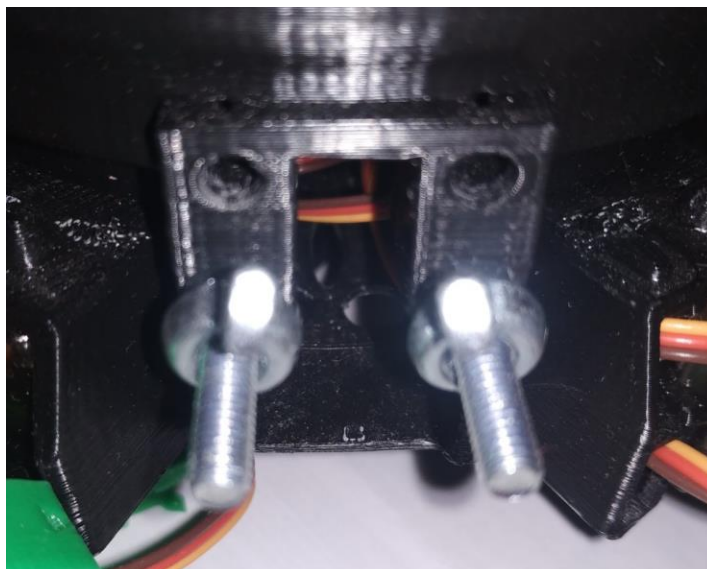


Рис. 2.2. Монтаж гвинтів на "ТЕКСАПОД"

Крок 2: монтаж сервомоторів у шасі.

На даному етапі потрібно вставити сервомотори у завчасно відведені місця у надрукованих деталях, як вказано на рисунку 2.3. Натискати потрібно повільно, щоб не пошкодити мотор, доки він не за фіксується виступом.

Сервомотор має 3 виводи, перший вивід зазвичай позначений чорним кольором, це земля або «-», другий червоним це «+» або 5 В, третій жовтим, саме по ньому передається сигнал, який і керує сервомотором. Мотори обладнані на закінченні проводів конектором «мама». Отож для того, щоб потім не виникало проблем в монтуванні, відразу на конекторі було позначено номер від 0-5 і вказано такий, який вказаний на шасі зверху місця, де

вставляється мотор. Було протягнуто дріт через направляючий отвір в центр шасі.

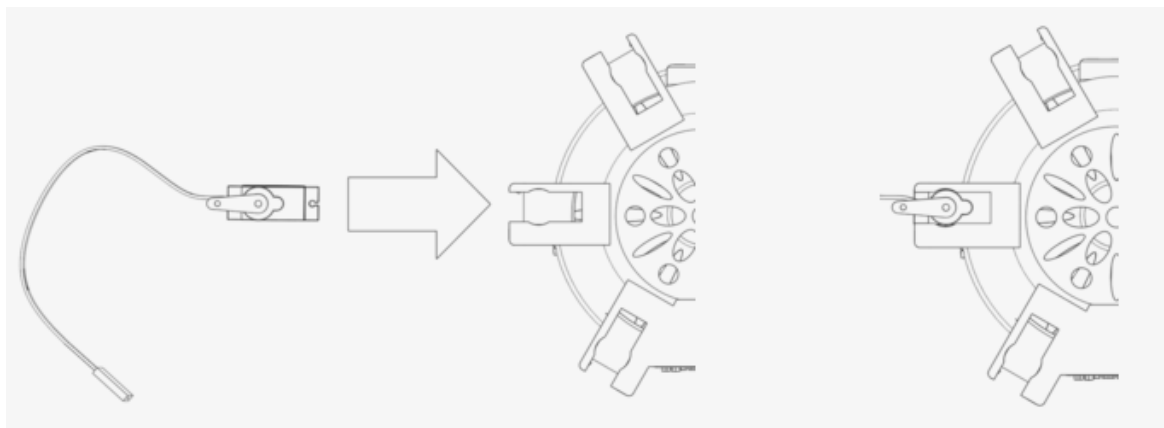


Рис. 2.3. Монтаж мотора у шасі

Крок 3: монтування сервомоторів у ніжки

Принцип монтування зображений на рис. 2.4. Техніка аналогічна, тільки на ніжках написані номери від 6-11, відповідно на конекторах було позначено такі номери.

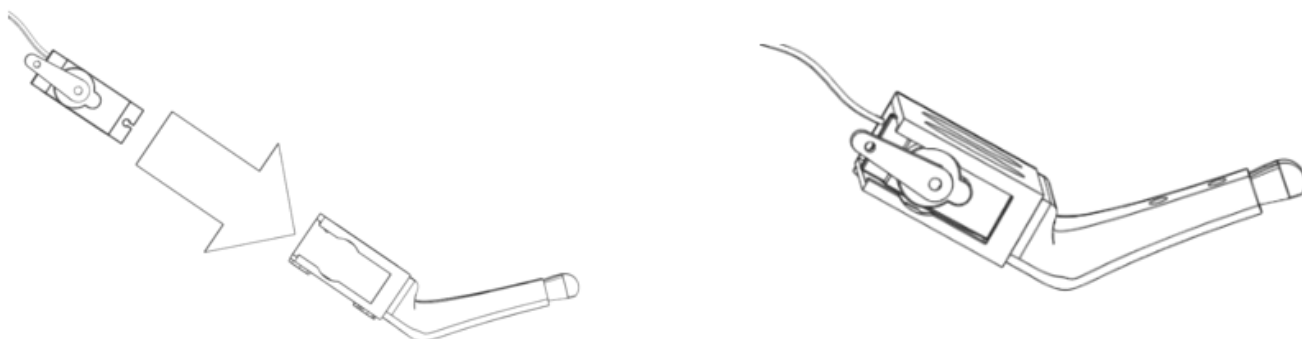


Рис. 2.4. Монтаж сервомоторів у ніжку

Крок 4: Заведення проводу сервомотора у ніжці шасі

Було проведено дроти через спеціальні отвори на фіксаторі, як показано на рис.2.5. Отвір має бути з лівої сторони, не допустіть помилки, оскільки в шасі отвір теж передбачений і він також з лівої сторони. Інакше провід буде перегинатись і як наслідок сервомотор вийде з ладу.

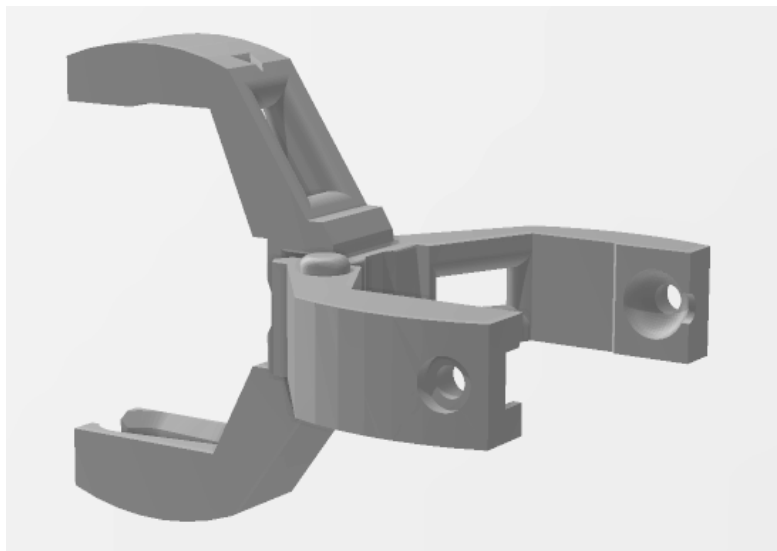


Рис. 2.5. Заведення проводу сервомотора крізь фіксатор

Фіксатор сполучили з ще одним під кутом 90 градусів так, як зображено на рисунку 2.6., фіксатори в такому вигляді формують суглоб для ніжки.

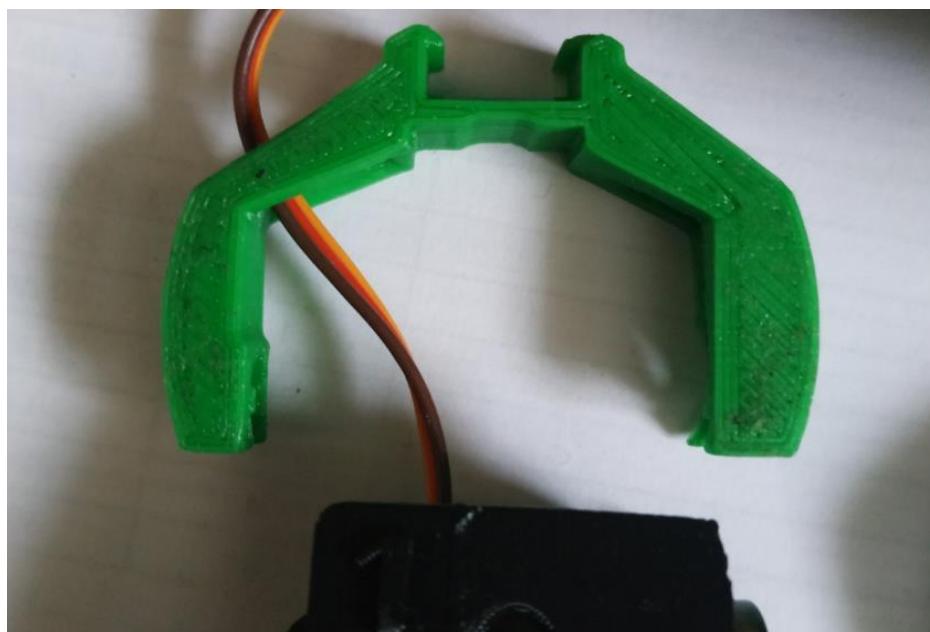


Рис. 2.6. Приклад з'єднання фіксаторів

Крок 5: Будова електронного складника платформи

Пізніше було підключено усю електроніку гексапода. Для початку підключили Arduino Nano до усіх елементів в роботі, дотримуючись заздалегідь підготовленої схеми, зображеної на рис. 2.7.

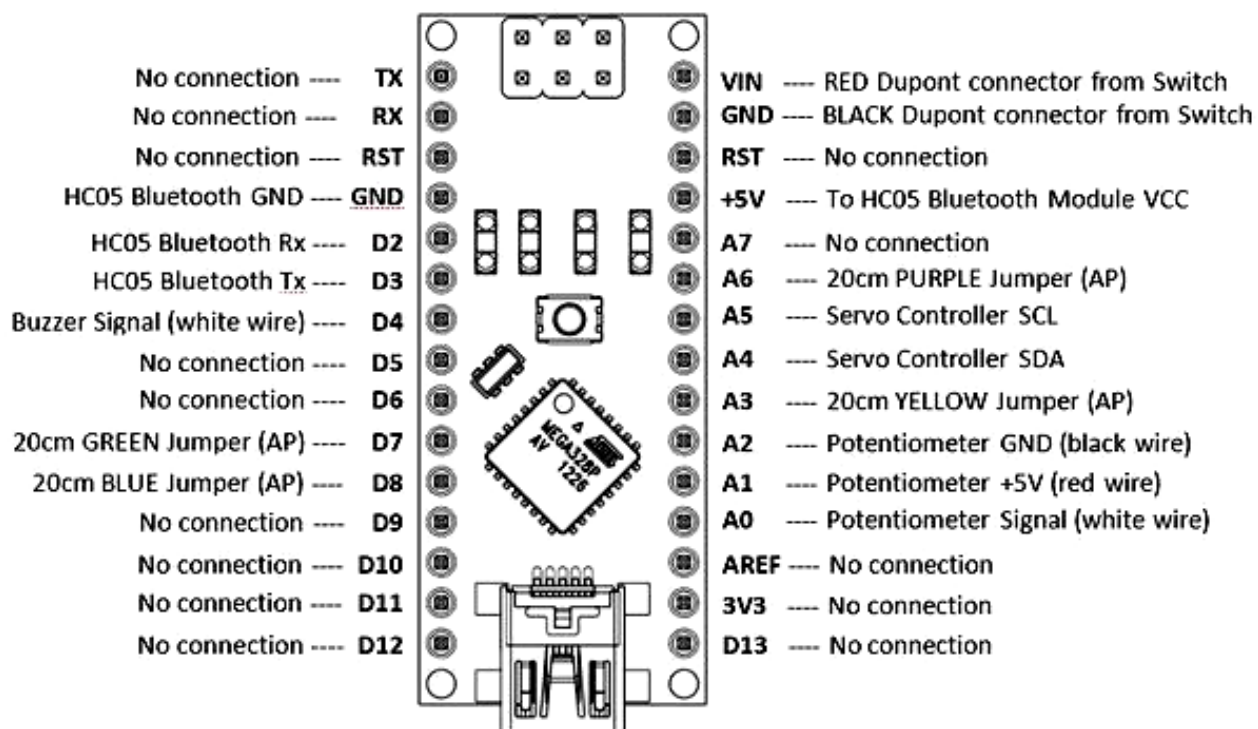


Рис. 2.7. Схема підключення до Arduino Nano

Цифрові порти вводу-виводу:

- D2 Модуль Bluetooth Rx(синій);
- D3 Модуль Bluetooth Tx (зелений);
- D4 Сигнал зумера;
- D5, D6, D9 – до цих портів немає підключення;
- D7 Провід (мама-мама) довжиною 20 см зеленого кольору для порту аксесуарів, а саме для ультра звукового далекоміра, до порту TRIG;
- D8 Провід (мама-мама) довжиною 20 см синього кольору для порту аксесуарів, а саме для ультра звукового далекоміра, до порту ЕЧНО;
- D10-D13 Зарезервовані для додаткового датчика (відеокамери).

Аналогові порти вводу-виводу:

- A0 Сигнал потенціометра (білий провід);
- A1 Потужність потенціометра (червоний);
- A2 Заземлення потенціометра (чорний);
- A3,A6 Провід (мама-мама) довжиною 20 см жовтого та фіолетового

кольорів відповідно, спрямовані до порту аксесуарів, для аналогового датчика освітлення або для інших датчиків;

- A4 Підключається до 16-канального PWM контролера до входу SDA;
- A5 Підключається до 16-канального PWM контролера до входу SCL;
- A7 До цього порту немає підключення.

Виводи живлення:

- VIN-штифт на Nano підключається до акумулятора (червоний провід);
- Штифт GND на Nano підключається до акумулятора (чорним провідником);
- + 5V на Nano підключається до Bluetooth модуля (білий).

Крок 6: підключення компонентів до контролера PCA9685

Сервомотори було підключено в логічному порядку від 0-11, як зображено на рис. 2.8. Жовтий провід повинен відповідати жовтому контактному штифту.

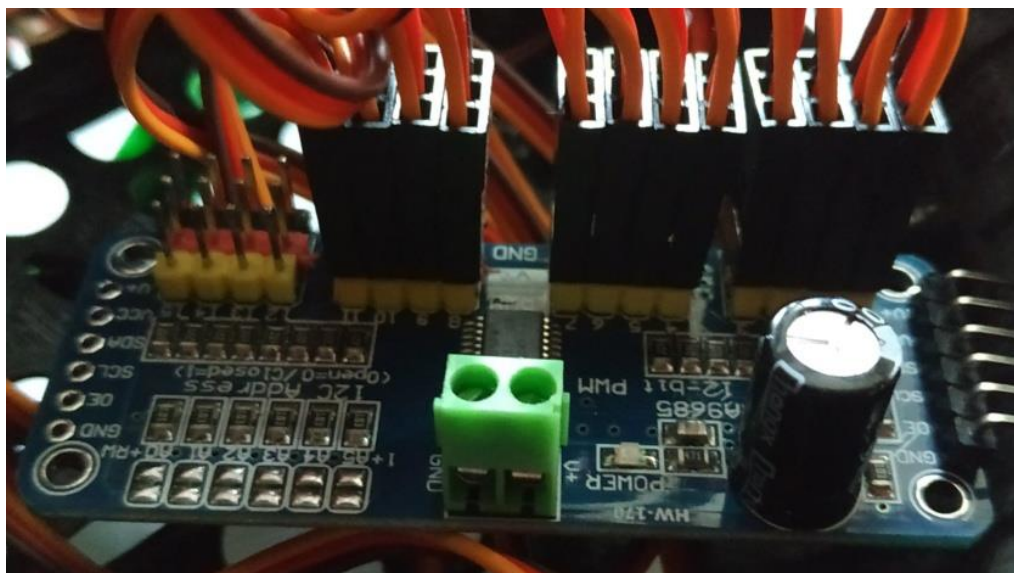


Рис. 2.8. Монтаж контролера сервомоторів

Також було підключено регулятор напруги DC-DC (рис.2.9) до 12 виходу на контролері, двома провідниками – червоним і чорним, відповідно червоний

до «V+» чорний до «-» тобто землі. DC-DC регулятор в свою чергу підключений до акумулятора, який формує напругу 7.2 В. Максимальна напруга живлення моторів – 5 В. DC-DC регулятор понижує напругу до необхідного її значення.

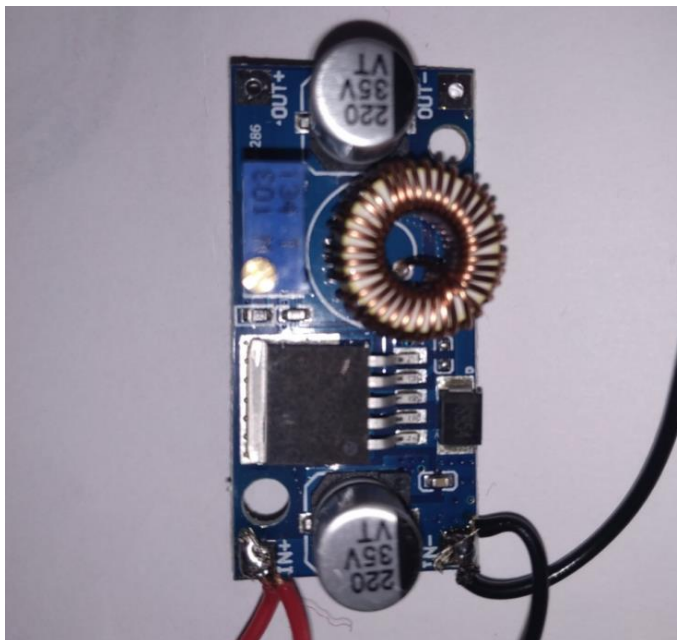


Рис. 2.9. DC-DC регулятор

Також було поставлено шунт на виводи VCC та V+ вони знаходяться один біля одного. Це потрібно для того щоб сервомотори і мікропроцесор працювали при одній напрузі +5 В. Виходи SDA та SCL відповідно до A4 та A5 на Arduino, як вказано вище.

До 13 порту контролера підключається п'єзо зумер, не усі 3 виводи, а лише +5 В і земля (рис. 2.10). А от провід, по якому передається інформація, підключений до порту D4 на Arduino.

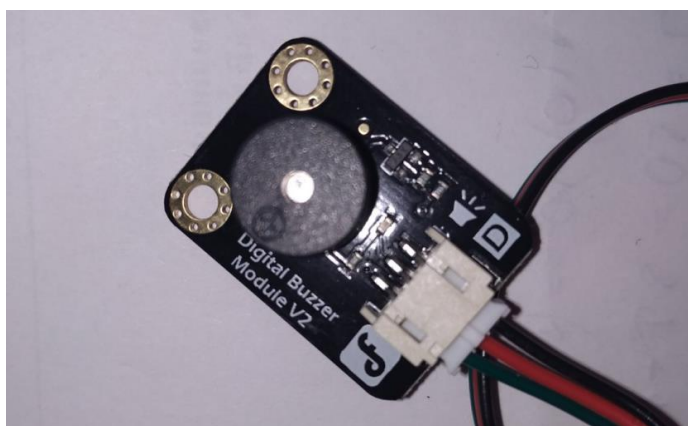


Рис. 2.10. П'єзо зумер

До 14 порту землі та +5 В підключаються чорний та червоний проводи відповідно, довжиною 20 см. (мама-мама), це виводи на аксесуари, додаткові сенсори тощо.

До 15 порту землі, +5 В та інформаційного штифта підключаються чорний, червоний та жовтий кабелі відповідно, довжиною 20 см (мама-мама). Дані виводи направлені до порту аксесуарів, а жовтий для подачі сигналу сервомотору, який може використовуватись у додатковому аксесуарі.

Крок 7: підключення перемикача та потенціометра в коло

На цьому етапі було підключено перемикач за схемою, яка зображена на рис. 2.11. На схемі перемикач (Switch) розмикає ділянку кола між Arduino та контролером PCA9685. Саме він вмикає і вимикає гексапода. Далі вимикач встановили в завчасно передбачене місце для нього в корпусі і закрутили гвинтами M3x10.

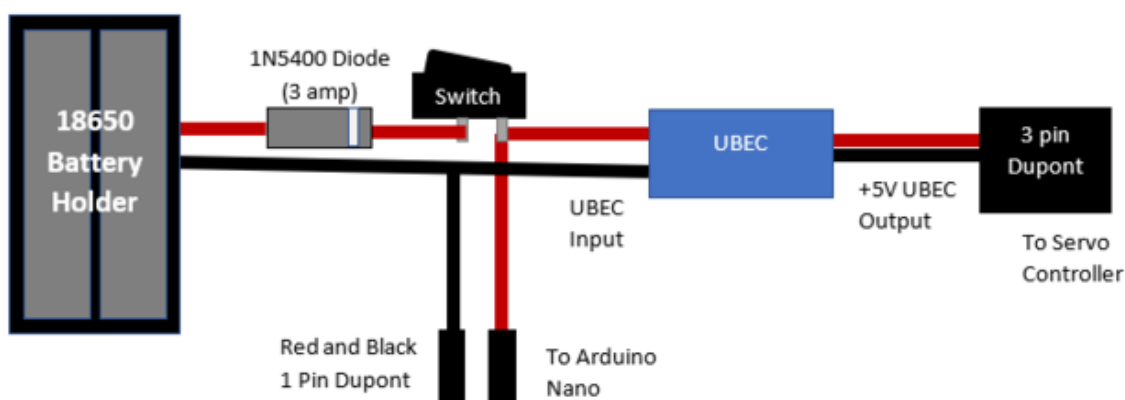


Рис. 2.11. Схема підключення вимикача

Потенціометр підключили до трьох портів на Arduino, A0, A1, A2. Перший відповідає сигналові, другий його потужності, третій землі. За допомогою потенціометра робот налаштовують, в залежності від кута повороту потенціометра робот може переходити у такі режими:

STOP – робот перейде в режим очікування (відкалібровані мотори тоді, коли їхній кут приблизно рівний 90 градусів).

ADJ режим налаштування сервозвуку, в цьому режимі мотори почнуть рухатись і стануть під кутом 90 градусів, саме так як нам потрібно.

TST режим створений для індивідуальної перевірки сервомотора, в даному режимі сервомотори починають рухатись по черзі.

DEMO режим створений для демонстрації усіх можливостей робота, після того як він їх виконує, він повторить це знову.

RC режим дистанційного керування за допомогою Bluetooth модуля.

Крок 8: монтування ніжок до корпусу

На цьому етапі потрібно увімкнути живлення до робота за допомогою перемикача, якщо сервомотори почали рухатись - це добре, якщо ні, то негайно потрібно вимкнути живлення і перевірити (під час роботи над проектом даної проблеми не виникло). Далі ручкою потенціометра було вибрано режим ADJ і за допомогою нього налаштовано сервомотори. Коли сервомотори відкалібровані потрібно до них кріпити на шестерню спеціальне плече, яке входить в комплект серводвигуна. Зображення плеча можна побачити на рис. 2.12.



Рис. 2.12. Плече до сервомотора

Далі виконали встановлення двигунів у фіксатори, де заздалегідь передбачені місця для плеча. Також з іншої сторони фіксатори кріплять до корпусу, отож, робот вже може стояти. Перевішивши потенціометр в положення STOP робот перейде в режим «стояти на місці». У цьому режимі виявили, що не усі ніжки стоять на землі, проблему виконали, переставивши плече на шестерні серводвигуна. Але потрібно врахувати те, що серводвигун робить поворот з кроком у 8 градусів, це не значною мірою впливає на точність рухів.

Також на цьому етапі варто перевірити окремо усі двигуни на справність за допомогою режиму TST.

Провівши аналіз та огляд гексапода, проблем не виявлено, на наступному етапі буде виконано упорядкування усіх проводів та плат методом компактного розміщення усіх компонентів.

Крок 9: розміщення плат та батареї

Використаємо спеціальний тримач, у якому передбачено місце для контролера PCA9685 та Arduino, що зображений з вже вставленими платами на рисунку 2.13. Також було прикручено такий тримач гвинтами до корпусу. Після монтування тримача, зверху нього розмістили батареї живлення.

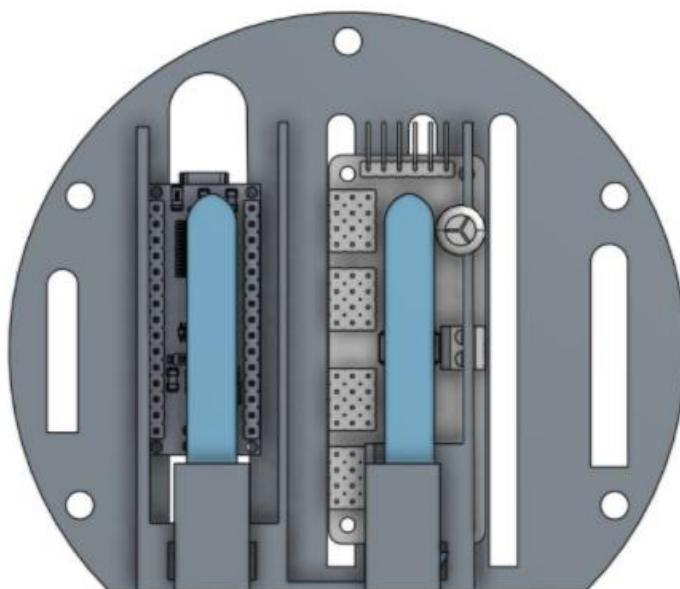


Рис. 2.13. Тримач плат

Крок 10: завершальний етап проектування.

Залишилось тільки надягнути ковпак на корпус і робот зібраний. Це робити потрібно вкрай обережно, піднімаючи однією рукою за низ робота, а іншою закручувати кришку за годинниковою стрілкою. А також бажано знизу робота накласти паралон, оскільки при певних діях він сильно падає на низ, а це може призвести до поломки.

2.3. Складання пульта керування

Гексапод розроблено з пультом керування і в стандартній моделі передбачено все для того, щоб дистанційно керувати гексаподом. При створенні робота, було виведено від центральної плати Arduino Nano провідники, які при нагоді можна підключити до Bluetooth модуля.

Апаратне забезпечення пульта керування:

- 1-х Блок живлення на 9 V (корона);
- 1-х Тримач блока живлення;
- 1-х Перемикач;
- 1-х матриця 4x4, матриця, яку використовують називається YL-102
рисунок 15;
- 1-х Модуль кнопки Dpad рисунок 16;
- 1-х Модуль Bluetooth HC05;
- 1-х Модуль зчитування картки microSD, а також карта microSD, яка сумісна з бібліотекою Arduino SD;
- 1-х Arduino Nano;
- З'єднувальні проводи (тато-мама, мама-мама), припій, паяльник, флюс, термозбіжна трубка, тощо.

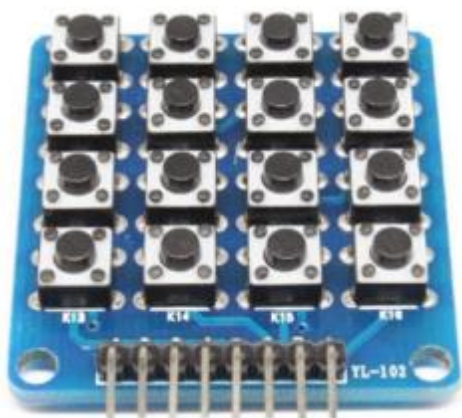


Рис. 2.14. Матриця 4x4



Рис. 2.15. Кнопки Dpad

Деталі корпусу:

- 1-х нижня пластикова частина пульта керування (додаток 7);

- 1-х верхня частина пульта керування (додаток 8);
- 1-х кнопка пульта керування;

Додаткові інструменти та деталі:

- 4-х Гвинтів M2x10.

Крок 1: побудова електронної системи пульта керування

Було підключено усі провідники до плати Arduino Nano, дотримуючись заздалегідь підготовленої схеми зображеної на рис. 2.16.

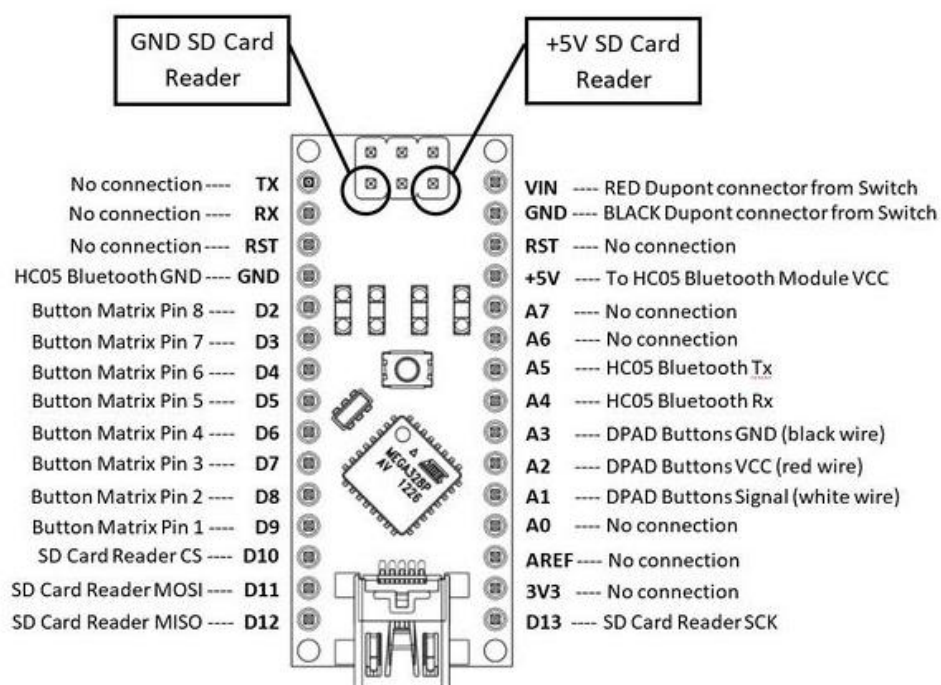


Рис. 2.16. Схема підключення Arduino Nano, для пульта керування

Цифрові порти вводу-виводу:

- D2-D9 Підключені до матриці кнопок. З такою закономірністю, якщо дивитись з верху матриці то правий штифт відповідає порту D9 й відповідно D8 відповідає штифтові, який з ліва від попереднього й так далі;
- D10 Підключається до SD-картки порту (SS);
- D11 Підключається до SD-картки порту (MOSI);
- D12 Підключається до SD-картки порту (MISO);
- D13 Підключається до SD-картки порту (SCL).

Аналогові порти вводу-виводу:

- A0 Невикористаний;
- A1 Dpad OUT (білий провід);
- A2 Dpad VCC (червоний провід);
- A3 Dpad GND (чорний провід);
- A4 Модуль Bluetooth HC05 Rx;
- A5 Модуль Bluetooth HC05 Tx;
- A6, A7 невикористані;

Виводи живлення:

- GND заземлення підключене до акумулятора;
- GND заземлення прямує до модуля Bluetooth HC05;
- +5 В підключається до модуля Bluetooth HC05 на порт +5 В;
- До порту ICSP 6 підключається зчитувач карт SD VCC;
- До порту ICSP 4 підключається зчитувач карт SD GND.

Крок 2: комплектація пульта керування

Потрібно помістити матрицю 4x4 та модуль кнопок D-PAD у відповідні місця в корпусі пульта. Жовті кнопки потрібно покласти трохи вниз та трохи зігнути штифти униз, у матриці 4x4 штифти теж мають бути зігнутими.

Крок 3: встановлення Arduino Nano

Arduino Nano має бути розміщене таким чином, щоб його USB-порт виходив із квадратного отвору на лівій стороні основи, а всі вихідні дроти від Nano виходили до передньої частини основи. Встановивши обережно, натисніть на бік Nano, протилежний порту USB, доки він не зафіксується, закріпивши його.

Крок 4: встановлення модуля Bluetooth HC05

Потрібно розмістити модуль Bluetooth HC05 під U-подібний кронштейн біля центру основи пульта керування. Світлодіоди модуля повинні бути спрямовані вгору, для того щоб їх бачити крізь отвори у верхній частині пульта керування, і це допоможе знати, що він увімкнений.

Крок 5: монтаж корпусу пульта керування.

Потрібно підсунути затискач для акумулятора на 9 В всередині області батарейного відсіку основи. Та помістити кронштейн кнопок на основу, а потім покласти пульт на кронштейн кнопок, утримуючи модулі кнопок на місці. Вирівняти чотири отвори для гвинтів у кутах з відповідними отворами на основі та закріпити чотирма гвинтами. Але для початку потрібно протестувати пульт чи він працює, оскільки при поломці з легкістю можна буде зняти кришку і полагодити причину поломки. Приклад монтажу зображено на рис. 2.17.

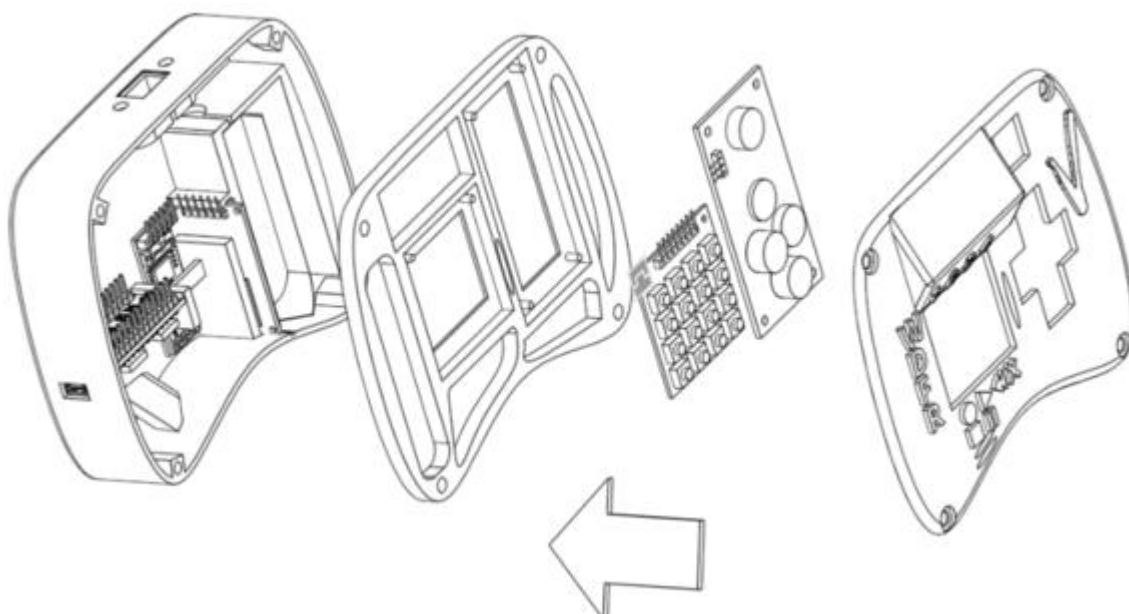


Рис. 2.17. Монтаж пульта керування

Крок 6: калібрування D-PAD

Для налаштування пульта потрібно повернути перемикач у положення ВИМК. (0), а потім встановити заряджену батарею 9 В. Потрібно утримувати верхню кнопку на модулі D-PAD. Утримуючи кнопку, повернути перемикач у

положення УВІМК. (1), при цьому можна побачити, що всередині пульта загоряться індикатори. Потрібно зачекати 15 секунд та потім відпустити кнопку D-PAD. Ця процедура змушує пульт виявляти, який тип D-PAD використовується, щоб він міг правильно інтерпретувати натискання кнопок. Це потрібно зробити лише один раз (або після заміни нового модуля D-PAD, наприклад після ремонту). Налаштування зберігається на енергонезалежній EEPROM на пульті Arduino Nano.

Крок 7: тест.

Для початку на пульті переводимо перемикач в положення 0 (вимкнено). Підключимо батарею на 9 В, та закриємо кришку з батареєю. Отож, можна перевести перемикач в положення 1 (увімкнено) та побачити, що світлодіоди почали світитись, тоді пульт працює. Далі потрібно перевести потенціометр на гексаподі в положення RC, у якому активується режим Bluetooth. Вмикається гексапод і за декілька секунд, поки він завантажиться, буде змога ним керувати і перевірити, чи кожен режим функціонує нормально.

Нами використано відкритий програмний код. З ним робот в демонстраційному режимі виконує багато цікавих і захоплюючих рухів. Весь програмний код до гексаподу та пульта керування має великий обсяг, тому було вирішено його зберегти на [google.drive](https://drive.google.com) і зробити відкритий доступ в посиланні, яке розміщено у додатку.

РОЗДІЛ 3

МОТИВАЦІЯ УЧНІВ ДО ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ ЗАСОБАМИ ОСВІТНЬОЇ РОБОТОТЕХНІКИ (НА ПРИКЛАДІ ПЛАТФОРМИ "ГЕКСАПОД")

3.1. Апаратне забезпечення "ГЕКСАПОДА" як засіб вивчення фізичних процесів

Плата **Arduino** – це апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання. Основним елементом, якої є плата мікроконтролера з елементами вводу та виводу. Для роботи плати використовується багато фізичних процесів та явищ. Учні при роботі з платою дізналися і повторили що таке кварцовий резонатор та його принцип роботи, лінійний стабілізатор, модуль пам'яті, резистор, конденсатор, тощо [2].

Основні характеристики **Arduino Nano**:

- Напруга живлення 5 В;
- Вхідне живлення 7-12 В (рекомендовано);
- Кількість цифрових виходів – 14;
- Кількість аналогових виходів – 8;
- Максимальний струм цифрового виходу 40 мА;
- Флеш-пам'ять 32Кб;
- Оперативна пам'ять 2Кб;
- EEPROM 1 Кб;
- Частота 16 МГц;
- Розмір 19x42 мм;
- Маса 7г.
-

Сервомотор – це привід, у якого вал обертання може стати на заданий кут або задавати певну швидкість обертання. На рис 3.1. зображено вигляд в перерізі.

Як можна побачити, він складається з мотору постійного струму, редуктора, потенціометра та плати керування. В ньому використовується явище переходу електричної енергії в механічну. За допомогою редукторів використовується ще одне фундаментальне явище в фізиці, «золоте правило механіки».

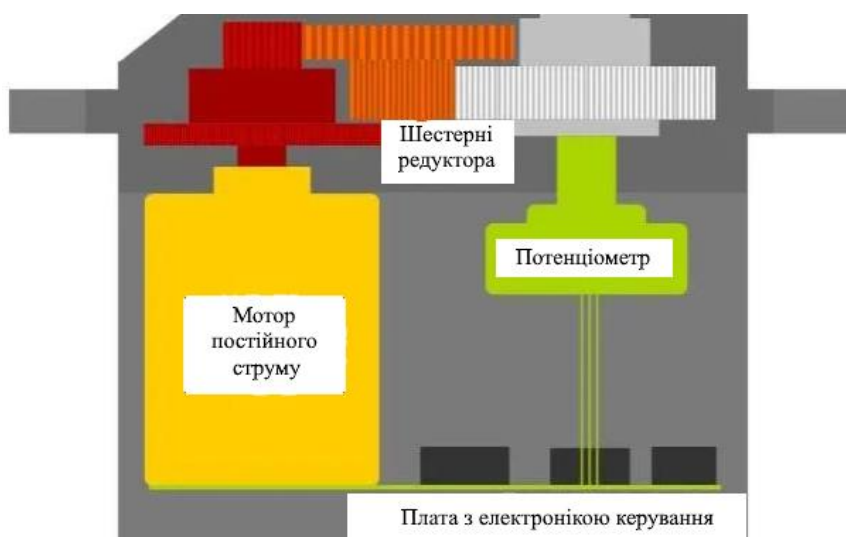


Рис. 3.1. Будова сервомотора в перерізі

Потенціометр виконує завдання датчика, він подає сигнал на плату керування при зміні положення вала. Від потенціометра виходить 3 проводи. Два з них живлять сервомотор, а третій використовується для подачі сигналу на плату керування. Сервомотор отримує сигнал заданого значення, після того порівнює значення з значенням на потенціометрі, і в випадку розбіжності блок керування прагне підтримувати задане значення, щоб воно при можливості співпадало з значенням, яке поступило з потенціометра.

Основні характеристики сервомотора:

- Маса: 55 г;
- Розміри: 40,7-19,7 - 42,9 мм;
- Швидкість роботи: 0,17 с/60 градусів (при напрузі 4,8 В без навантаження);
- Швидкість роботи: 0,14 с/60 градусів (при напрузі 6 В без навантаження);

навантаження);

- Навантаження на валові: 9,4 кг/см (4,8 В), 11 кг/см (6 В);
- Робоча напруга: 4,8-7 В;
- Робоча температура: 0-55 °С.

Модуль пасивний (п'єзогучномовець) – пристрій, у якому відбувається перетворення електричних коливань в звукові. За допомогою нього можна оснастити прилад звуковою сигналізацією.

Основні характеристики:

- Діапазон випромінюваних часто 2-5 кГц;
- Робоча напруга від 3-5 В;
- Розміри плати 33x20 мм.

DC-DC step-down XL4005 – понижувальний конвертор, за допомогою цієї плати можна регулювати вихідну напругу в певному діапазоні. Це дає можливість від одного джерела забезпечити живленням декілька компонентів з різними напругами. При не правильному підключенні можна спостерігати втрати електроенергії, які на пряму залежать від співвідношення вхідної і вихідної напруг. За рахунок того, що пристрій працює у імпульсному режимі, він має високий ККД і на відмінну від інших типів перетворювачів не потребує додаткового тепловідведення. Пристрій обладнаний тепловим захистом. При використуванні понижувального конвектора потрібно враховувати те, що напруга на виході не може перевищувати напругу на вході.

В DC-DC мікросхемі понижується напруга за рахунок широто імпульсної модуляції (ШІМ) схема керування виробляється прямокутними імпульсами, з постійною частотою, або постійним періодом. Ці імпульси показані на рисунку 3.2. Там t_i - час імпульсу, транзистор відкритий, t_n - час паузи, транзистор закритий. Співвідношення t_i/T називається коефіцієнтом заповнення. Та позначається буквою D і виражається у відсотках, або просто в числах.

Таким чином D можна змінювати від 0-1. При значенні $D=1$ ключовий транзистор знаходиться в стані повної провідності, а при $D=0$ в закритому стані. Відповідно можна здогадатись що при $D=50\%$ вихідна напруга буде відрізнятись від вхідної в 2 рази. Очевидно, що регулювання вихідної напруги відбувається за рахунок зміни ширини керуючого імпульсу t_i [3].

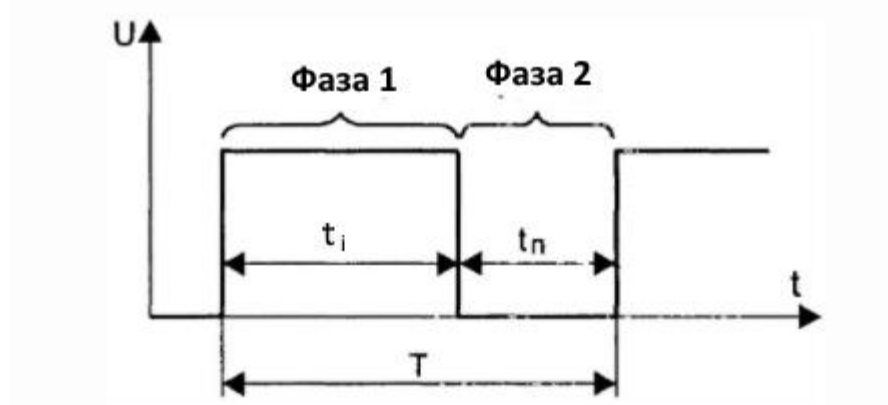


Рис. 3.2. Імпульси керування

Основні характеристики DC-DC перетворювача:

- Вихідна напруга: 0,8-30 В;
- Вихідний струм: 0-5 А;
- Вхідна напруга: 5-32 В;
- Діапазон температур: -40-+85 С;
- Ефективність: 96%;
- Захист: коротке замикання: (граничний струм 8А);
- Потужність: 75 Вт;
- Розмір: 54x24x12 мм;
- Частота: 300 Гц.

16-канальний PWM контролер PCA9685 – контролер для підключення 16-ти сервомоторів або світлодіодів до плати Arduino, використовуючи всього 2 сигнальні дроти. Конструкція дозволяє каскадувати та керувати 992 сервомоторами або світлодіодами. В ньому використовується передача сигналу від Arduino на різній частоті [19].

Особливості конструкції:

- на платі встановлено додаткові резистори по кожному з виходів для зручного підключення світлодіодів;
- живлення 3,3 В;
- можливість підключення сервомоторів з напругою 6 В;
- 6-розрядна I2C адреса;
- регульована частота ШІМ до 1 кГц;
- 12 бітове керування по кожному з каналів;
- налаштовується вихід – дровий або ж з відкритим стоком;
- окремий вхід джерела живлення сервомоторів або світло діоди.

Потенціометр – це змінний резистор із 3-ма виводами, один із яких рухомий, що використовується як змінний опір. В даному проєкті використовується як елемент керування. Оскільки запрограмовано при якому опорі виконувати певну дію. а при якому знаходитись у стані спокою.

3.2. Методичні особливості використання платформи в освітньому процесі з фізики.

Виконання магістерської роботи проходило паралельно з проходженням практики в школі. Тому була змога практично перевірити результативність проєкту в освітньому процесі з фізики.

Протягом 4 тижнів ми з учнями інтенсивно працювали над проєктом, і що важливо, їх не хто не змушував до цього, уроки фізики проводили згідно програми. Значна частина роботи проводилась велось на перервах і в позаурочний час.

На мою думку, виконувати проєкти такого типу на уроках фізики чи в позаурочний час дуже ефективно, оскільки цим вдалося зацікавити учнів працювати. Їм було цікаво працювати в такому напрямку, оскільки до цього вони не мали справи з інноваційними технологіями робототехніки.

Також підхід до вивчення фізики був дещо іншим, автор не позиціонував себе як соціально вищим, а натомість був для них колегою, який дещо краще

знає про предмет фізики, і усі проблеми, які у нас виникали при роботі, ми вирішували колективно під час дискусії, тобто діти не боялися помилитись, а якщо помилялися, то прикладались зусилля щоб пояснити так, щоб усім було зрозуміло. Протягом усього часу роботи над проектом аналізувалося знання учнів, та можна зробити такі висновки.

При роботі над проектом учні ознайомились із такими поняттями:

- електричний сигнал та його види;
- трансформатор;
- акумулятор;
- перетворення енергії.

Електричний сигнал

Сигнал – це змінна фізична величина, що використовується для пересилання інформації, світлового потоку, сили струму, тощо, що використовується для перенесення даних.

Електричний сигнал- це перенесення даних за допомогою зміни фізичної величини: електричного струму, заряду, магнітного потоку чи напруги. Розрізняють дві групи сигналів.

Детерміновані, це такі сигнали, значення яких можна передбачити в будь-який момент часу, абсолютно точно. Такі сигнали не несуть нової інформації, проте вони можуть бути використані як тестові сигнали при дослідженнях різних електричних кіл.

Випадкові, це такі сигнали, значення яких у будь-який момент часу не можливо передбачити. Випадковими сигналами є різні електромагнітні коливання природного та промислового походження, а також сигнали інших джерел сигналів, які перешкоджають заданому. Вони бувають корисними та ті, які заважають(шум).

Електричні сигнали поділяються на такі типи:

Аналогові – неперервні у часі та на множинні значень;

Квантові – неперервні у часі та дискретні на множині значень;

Цифрові – дискретні в часі та на множенні значень;

Дискретні – дискретні у часі та неперервні на множенні значень.

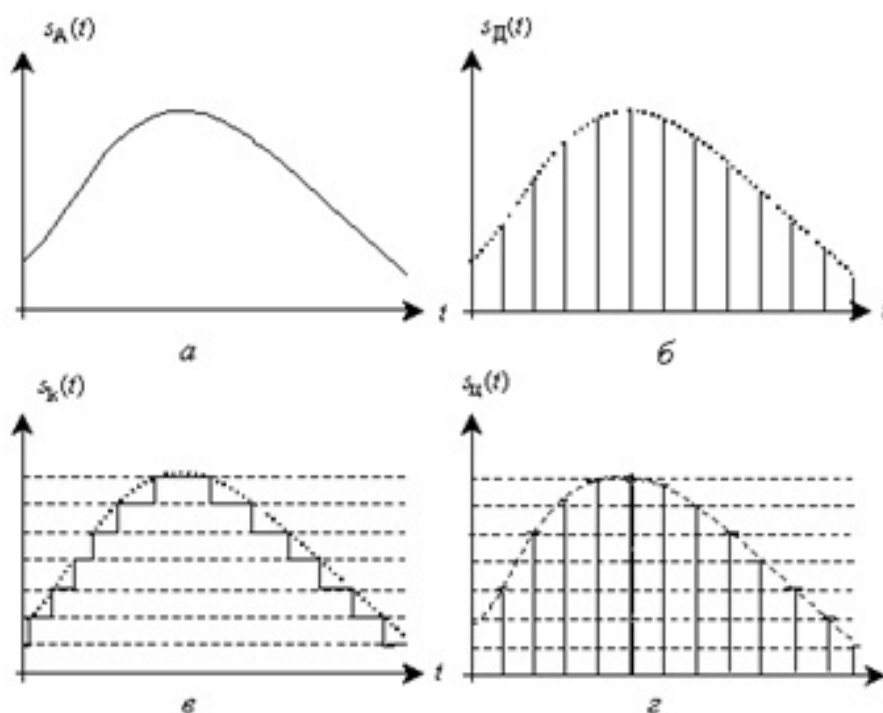


Рис. 3.3. Вигляд одного і того ж сигналу в залежності від його типу. (а) аналоговий, (б) дискретний, (в) квантовий, (г) цифровий.

Найбільш поширеними є цифрові сигнали та аналогові. Способи пересилання, обробки, зберігання та відтворення інформації між ними різняться докорінно. Тому в інформаційній електроніці виділяють такі два напрями, аналогову та цифрову електроніку. Аналогова та цифрова електроніка – це два напрями інформаційної електроніки. В залежності від проміжку часу, протягом якого існує сигнал, його розрізняють на імпульсний та довготривалий (неперервний). Неперервний сигнал теоретично існує, якщо проміжок часу достатньо тривалий.

Імпульсні сигнали – в такому випадку сигнал триває дуже маленький проміжок часу.

Трансформатор

У 1831 році англійським вченим, фізиком, Михайлом Фарадеєм при проведенні дослідження електричного кола, було відкрите явище електромагнітної індукції, що лежить в основі роботи трансформатора. Патент на трансформатор було запатентовано Яблочковим П. М. 30 листопада 1876 року, але його трансформатор був з розімкнутим осердям, у вигляді стержня на який намотувались обмотки. Вже у 1885 року угорськими інженерами було розроблено трансформатор із замкнутим магнітопроводом, що зіграло велике значення у подальшому розвитку конструкції трансформатора. Хоча трансформатори мали великий недолік, вони сильно грілись, але дану проблему було вирішено наприкінці 1880-х років Джорджем Свінберном. Він розташував трансформатори у керамічних посудинах, заповнених оливою, це суттєво підвищило ізоляцію обмоток.

Винахід трансформатора мав велике значення у так званій «війні струмів» протистоянні Томаса Едісона та Ніколи Тесли, який стлум краще використовувати, змінний чи постійний. До речі вона тривала понад 100 років, і закінчилась фактично 2007 року. Її є свої переваги використання що змінного що постійного струму. Постійний струм краще використовувати у електроніці, і він більш безпечніший. А от змінний краще використовувати при передачі електроенергії на великі відстані та в побутовій техніці. Отож далі про трансформатор.

Винахід трансформатора зацікавив вчених до розвитку та більш змістовного вивчення змінного струму. У 1889 р Добровольський розробив перший трифазний трансформатор, а уже у 1891 році на виставці у Франкфурті продемонстрував високовольтну передачу електричного струму на 175 км. За допомогою трифазного генератора потужністю 230 кВт при напрузі 95В. також у 1891 році Нікола Тесла винайшов резонансний трансформатор для генерування високої напруги при високій частоті.

Будова трансформатора

Найпростіший трансформатор складається: з осердя на яке намотано дві обмотки, на одну обмотку підключено джерело змінного струму (первинна

обмотка), інша обмотка живить навантажувач (вторинна обмотка). Струм у первинній обмотці створює змінний магнітний потік який призводить до появи ЕРС у вторинній обмотці, оскільки обмотки мають спільне осердя, співвідношення напруг на первинній та вторинній обмотках прямо пропорційне кількості витків, та обернено пропорційне силам струмів. Таким чином напруга на первинній та вторинній обмотці залежить від кількості витків на них.

У реальних трансформаторах під час передачі струму між обмотками виникають втрати. Однією з причин з причин втрат є активний опір який виникає при нагріванні трансформатора і збільшується з збільшенням його температури. Також такі ефекти як скін-ефект, та ефект близькості теж збільшують опір провідника та як наслідок збільшують втрати. І ще однією основною причиною втрат, є струм Фуко, змінне магнітне поле в середині породжує змінне вихрове електричне поле, яке викликає додаткові вихрові струми, при навантаженні даний тип втрат є найбільшим. За для зменшення струмів Фуко в трансформаторі, використовують осердя з багатьох тонких пластин.

Види трансформаторів:

- силовий трансформатор;
- автотрансформатор;
- узгоджувальні трансформатори;
- вимірювальні трансформатори;
- імпульсні трансформатори;
- резонансний трансформатор.

Застосування:

Використовують трансформатори для великого підвищення напруги, яку підвищують за для передачі електроенергії на великі відстані, при цьому струми в колі максимально малі. З міркувань безпеки в побуті використовують набагато менші напруги, при великих напругах збільшується вірогідність пробою. Тому для найбільш вигідного транспортування використовують

багаторазово силові трансформатори. У електричній мережі використовують три фази, й відповідно застосовують трифазні трансформатори, або групу з трьох однофазних трансформаторів, з'єднаних за схемами зірка або трикутник, у трифазного трансформатора осердя спільне. Враховуючи те що ККД трансформаторів велике, й рівне 99%, на підстанціях використовують масляне охолодження трансформаторів оскільки при перетворенні потужності 1 ГВт на трансформаторі може виділятися теплова потужність до 10 МВт. Трансформатори повітряного охолодження використовують в мережах 220 В, та 380 В і то при відносно малих потужностях.

Також трансформатори широко використовувались в минулому в телевізорах, оскільки та потрібно було використовувати напруги у діапазонах від 5 В до 1-3 кВ. А також використовуються у різноманітній сучасній електроніці. Від комп'ютерів до блоків живлення в зарядних пристроях. А також в знятті високочастотних перешкод в підсилювачі звуку.

Акумулятор

Електричний акумулятор – це джерело електричного струму багаторазової дії, яке може накопичувати та віддавати електричний струм. Електричний акумулятор належить до хімічних вторинних джерел струму. Принцип дії акумулятора полягає у використанні зворотної хімічної реакції. Наприклад кислотні акумулятори накопичують хімічну енергію внаслідок вище сказаних процесів, між електролітом та електродами, а віддають електричну енергію, будучи гальванічними елементами. Акумулятор можливо знову зарядити пропустивши струм в зворотному напрямку до того який при розряді.

Історія створення акумулятора. У 1749 році Бенжеміном Франкліном вперше було використане слово «батарея», що описувало конденсатори які були сполучені між собою. Ці конденсатори мали такий вигляд: це були скляні колби покриті тонким металом з обох сторін, дані конденсатори заряджалися за допомогою електростатистичного генератора «електрофорної машини», і розряджалися за допомогою контакту електродів. Сполучивши у «батарею» конденсатори, винахідник домігся збільшення сили заряду, він використав це

слово, тому що в ті часи «групи з двох або більше однакових об'єктів які функціонують разом, так називали». І лише у 1800 році було винайдено першу батарейку Александро Вольтом яка мала назву «Вольтів стовп» лише згодом було вияснено що струм у батареї виникає за рахунок хімічної реакції. Комірка Денієлла стала першим практичним джерелом електричної енергії. Вона складалась з мідної банки у яку було наповнено розчином сульфату міді, у який заповнювався не глазурований глиняний контейнер, наповнений сульфатною кислотою та вставлений цинковий електрод, глиняний контейнер був пористим що давало змогу проходити іонам через нього і водночас не давало розчинам змішуватись. Вигляд «комірки Денієлла» зображений на рис. 3.4.

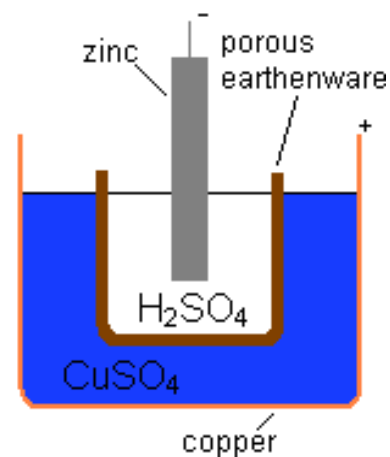


Рис. 3.4. Вигляд комірки Денієлла

Характеристики акумуляторів

Ємність акумулятора – характеристика максимально можливого корисного заряду, що віддається споживачеві при мінімально допустимій напрузі. В системі СІ ємність акумулятора визначається в кулонах. Але на практиці використовують позасистемну одиницю $A \cdot \text{год}$ $1 A \cdot \text{год} = 3600$ кулон.

При низьких температурах характеристики будь-яких акумуляторів падають. А також при від'ємних температурах не можливо заряджати акумулятор.

Акумулятори широко застосовуються у всіх галузях та в побуті, на транспорті, різноманітних гаджетах, штучних супутниках, тощо. На сьогоднішній день існує дуже багато видів акумуляторів, найпоширеніші з яких: кислотні та лужні [5].

Перетворення енергії

Для початку розглянемо закон збереження енергії, енергія не виникає з нічого та не зникає в нікуди, вона може перетворюватися з одної форми в іншу. Наприклад: стиснувши пружину хлопчик затратив певну енергію для цього, але

дана енергія перейшла в енергію пружності, тобто відразу коли хлопчик відпустить її вона повернеться у свій стан спокою. Даний закон унеможливило вічний двигун першого роду, тому що неможливо перейти з ізотермічного в адіабатний стан, або навпаки без втрати енергії. Закон було відкрито різними вченими для різних видів енергії Лейбніц – для кінетичної, Пойнтінг для електромагнітної енергії, Джоуль для внутрішньої.

Одним із перших експериментів, що підтверджували закон збереження енергії, був дослід Жозефа-луї Гейс-Люсака, проведений у 1807. Дослідом він намагався довести, що теплоємність газу залежить від об'єму, він вивчав розширення газу в пустоту і помітив закономірність, що температура не змінюється, на той час йому не вдалося пояснити цей факт. Також в XIX ст. багатьма експериментами було показано, що електричний струм може мати різні типи впливу, такі закономірності спонукали М. Фарадея зробити такі висновки, що різні прояви сили матерії мають спільне походження, тобто мають змогу перетворюватись одна в одну. Дана точка зору була передвісником закону збереження енергії.

Першою роботою де вдалося встановити зв'язок між виконаною роботою та теплотою провів Садіо Карно. У 1824 році ним було опубліковано статтю «Роздуми про рушійну силу вогню та про машини здатні розвивати цю силу».

Саме Джеймсоном Джоулем було встановлено кількісну складову закону. Він поміщав у посудину соленоїд із залізним осердям, що обертався в полі електромагніта, він визначив скільки теплоти виділяється під час тертя, у випадках замкненої та розімкненої обмоток електромагніта. Провівши порівняння він зробив такі висновки, що кількість теплоти пропорційна квадратові сили струму. За деякий час він удосконалив свою установку, в перших дослідах котушка оберталась за рахунок дії сили винахідника, а він змінив це на вантаж який падає, за допомогою цього йому вдалося зв'язати величину тепла яке виділилося зі зміною енергії вантажу. Згодом вченому вдалося визначити те що, незалежно від методу переходу роботи в тепло, кількість теплоти завжди пропорційна роботі яка була виконана.

Германом Гельмгольцом було теж доведено закон збереження енергії, але він пішов іншим шляхом, він відштовхувався від того що не існує вічних двигунів, його міркування брали початок з механістичної концепції будови матерії, представляючи її великою кількістю матеріальних точок, що мають взаємодію між собою, в наслідок центральних сил. Згодом він звів усі сил та виділив два їхні два типи, сили рухомих тіл та сили напруженості, сьогодні це розуміють інакше, як кінетична та потенціальна енергія. Поняття енергія виникло лише у другій половині XIX ст.. і то лише через те що, поняття сили вже було введено у ньютонівській механіці. Розуміння про енергію яку трактують сьогодні було введено у 1807 році, а вже у 1852 році Томсоном було введено визначення про енергію, у його роботі «Динамічна теорія тепла».

Закон збереження механічної енергії трактується так – у замкненій системі частинок, повна енергія, що є сумою потенціальної та кінетичної енергій, не залежить від часу (є інтегралом руху). Закон збереження механічної енергії справедливий замкнутим системам, за таких умов коли зовнішні поля не діють та не взаємодіють з системою. Системи для яких виконується закон збереження механічної енергії називається консервативними. Закон не виконується для сили тертя оскільки за наявності сили тертя виконується перетворення механічної енергії в теплову.

У термодинаміці закон збереження енергії має такий вигляд, енергія в ізольованій системі зберігає сталу величину при усіх змінах що відбуваються у самій системі, або те що писалось вище, енергія не може з'явитися не звідки та зникнути в нікуди.

Енергію одного виду можна перетворити в енергію іншого виду, наприклад, теплову енергію можна перетворити в механічну, а хімічну в теплову. Нам відомо що атоми зв'язані між собою хімічними зв'язками, для того щоб його розірвати потрібно затратити певну енергію. В різних молекулах зв'язок між атомами різний, тобто для того щоб розірвати його потрібно прикладати різну силу. Наприклад, зв'язок між молекулами CO_2 більший чим зв'язок карбону у вугіллі й атомів кисню в молекулі кисню, тому при горінні

виділяється сполука вуглекислого газу та енергія яка може бути передана воді, яка у свою чергу перетвориться в пару й своєю енергією почне рухати турбіну генератора, який створить електричний струм який можна буде перетворити в механічний рух за допомогою мотора [16].

ВИСНОВКИ

Перспективи використання робототехнічних платформ у освітньому процесі доволі широкі, а їх реалізація вимагає від учителя методичної та технологічної підготовки. Співвідносячи завдання шкільної освіти з перспективами автоматизації та роботизації сучасного виробництва, необхідно координувати зусилля освітніх установ, промислових підприємств, закладів вищої освіти, органів управління освітою для ефективного розвитку технічного мислення школярів, цілеспрямованого розвитку здібностей інженерно-технічного напрямку, популяризації та розвитку STEM-технологій.

У роботі проаналізовано можливості та ефективність використання засобів STEM-технологій в освітньому процесі, описано послідовність виготовлення та програмування роботизованої платформи "Гексапод". Запропоновано методичні рекомендації щодо використання платформи "Гексапод" в освітньому процесі з фізики.

Адаптація вивчення фізики до вимог сучасного розвитку техніки актуалізує проблему гармонічного впровадження робототехніки в освітній процес та позаурочну роботу. Успішне використання нових засобів і методик вимагає подальшого їх дослідження та апробації з метою удосконалення та підвищення їх ефективності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. 3D МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.tsatu.edu.ua/vmf/wp-content/uploads/sites/17/modeljuvannja-v-osvitnomu-procesi.pdf>.
2. Arduino Products [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/en/main/products>.
3. DC-DC преобразователи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://electrik.info/main/praktika/1112-dcdc-preobrazovateli.html>.
4. Executive Summary World Robotics 2018 Industrial Robots [Electronic resource]. URL: https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_2018_Industrial_Robots.pdf.
5. Finn, Bernard S. (September 2002). Origin of Electrical Power. National Museum of American History. Процитовано 2012-08-29.
6. LEGO Education WeDo 2.0: пробная версия учебных материалов [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://education.lego.com/ru-ru/support/wedo-2/curriculum-preview>.
7. Meeth L. R. Interdisciplinary Studies: Integration of Knowledge and Experience. Lois Richard Meeth. Change. 1978. № 10. P. 6–9.
8. STEM-освіта – Інститут модернізації змісту освіти [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita>.
9. Sung Eun Jung & Eun-sok Won, Systematic Review of Research Trends in Robotics Education for Young Children [Electronic resource]. Sustainability, 2018, 10, 905; doi: 10.3390/su10040905 URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/4/905/htm>.
10. Vorpall Robotics [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://vorpallrobotics.com/wiki/index.php/Vorpall_Robotics
11. Барна О.В., Балик Н.Р. Впровадження STEM-освіти у навчальних закладах: етапи та моделі [Електронний ресурс]. STEM-освіта та шляхи її

впровадження в навчально-виховний процес: збірник матеріалів І регіональної науково-практичної вебконференції, м. Тернопіль, 24 травня 2017 р. Тернопіль: ТОКІППО, 2017. С. 3-8. Режим доступу до ресурсу: <http://elar.ippo.edu.te.ua:8080/handle/123456789/4559>.

12. Британська компанія Spacebit відправляє на Місяць схожий на павука місяцехід [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://root-nation.com/ua/news-ua/it-news-ua/ua-spacebit-asagumo-moon-2021/>.

13. ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ФІЗИЦІ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.konferenciaonline.org.ua/arhiv-konferenciy/arhiv-konferenciy02-04-2019>.

14. Володченко А. Є., Стрижак О. Є., Храпач Г. С. Трансдисциплінарний характер операціональності розвитку обдарованості учнівської молоді [текст]. Навчання і виховання обдарованої дитини: теорія та практика. – Вип. 16. – Київ : Інститут обдарованої дитини, 2016. – С. 100–110.

15. Інноваційні Освітні Рішення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ies.org.ua/wp-content/uploads/2019/04/ies2019>.

16. Кудрявцев П. С. Курс истории физики. Просвещение, 1974. — Т. I (глава VI).

17. Морзе Н.В., Гладун М.А., Дзюба С.М. Формування ключових і предметних компетентностей учнів робототехнічними засобами STEM-освіти [Електронний ресурс]. Інформаційні технології і засоби навчання. 2018. Т. 65. № 3. С. 37-52. – Режим доступу до ресурсу: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/2041/1348>.

18. Наволокова Н. П. Енциклопедія / Н. П. Наволокова. – Х.: Основа, 2009. — 176 с.

19. ОГЛЯД ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ ARDUINO NANO 3.0 У ВИЩІЙ ШКОЛІ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/331467348_OGLAD_TA_PERSPEKTIVI_VIKORISTANNA_PLATFORMI_ARDUINO_NANO_30_U_VISIJ_SKOLI.

20. Пехота О. М.. Освітні технології [Навч.-метод. посіб.] / О. М. Пехота, А. З. Кіктенко, О. М. Любарська та ін.; За заг. ред. О. М. Пехоти. – К.: А.С.К., 2001. — 256 с.

21. Позиції України в рейтингу країн світу за Індексом глобальної конкурентоспроможності 2017-2018 [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://edclub.com.ua/analitika/pozyciya-ukrayiny-v-reytingu-krayin-svitu-za-indeksomglobalnoyi-konkurentospromozhnosti-2>.

22. Проєктування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Проєктування>.

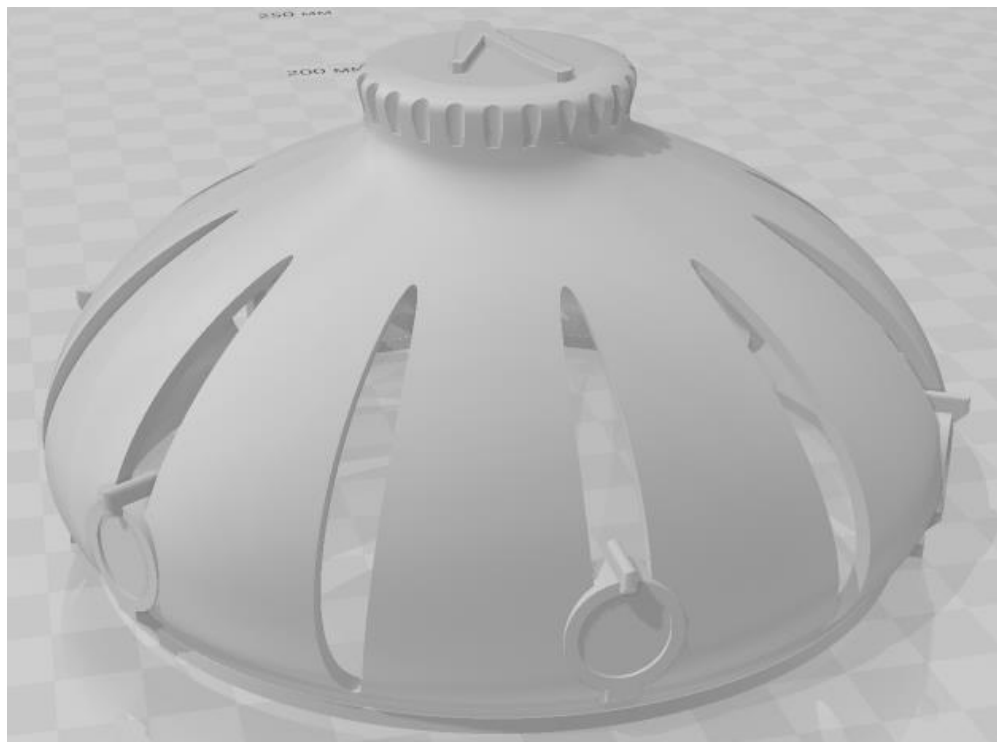
23. Робототехніка [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Робототехніка>.

24. РОБОТО-ТЕХНІЧНІ ПЛАТФОРМИ ЯК ЗАСІБ АКТИВІЗАЦІЇ ПІЗНАВАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ УЧНІВ З ФІЗИКИ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.konferenciaonline.org.ua/arhiv-konferenciy/arhiv-konferenciy10-12-2020>.

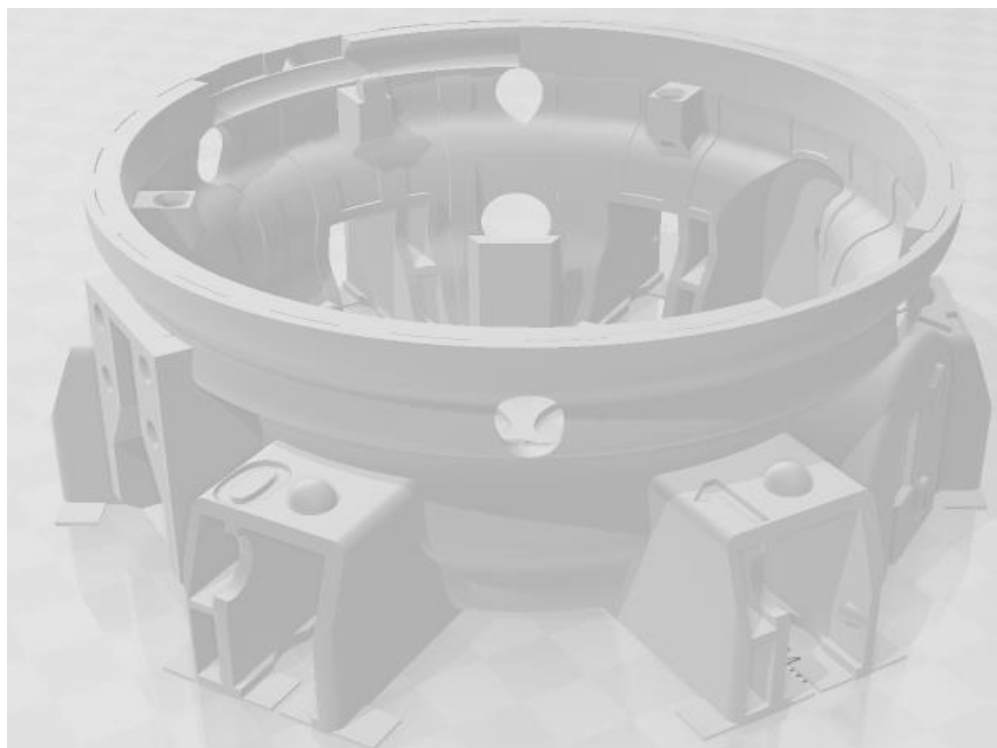
25. Тузикова И.В. Изучение робототехники – путь к инженерным специальностям [Текст]. Школа и производство. 2013. № 5. С. 45-47.

26. ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.konferenciaonline.org.ua/arhiv-konferenciy/arhiv-konferenciy06-03-2019>.

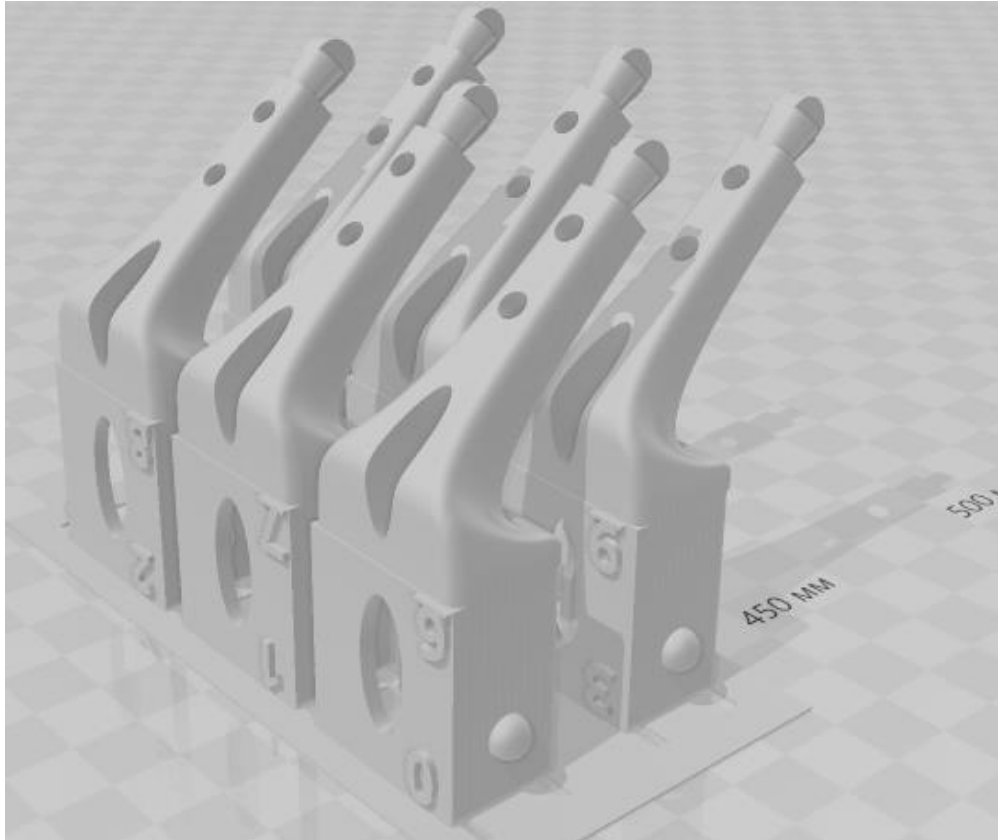
ДОДАТКИ



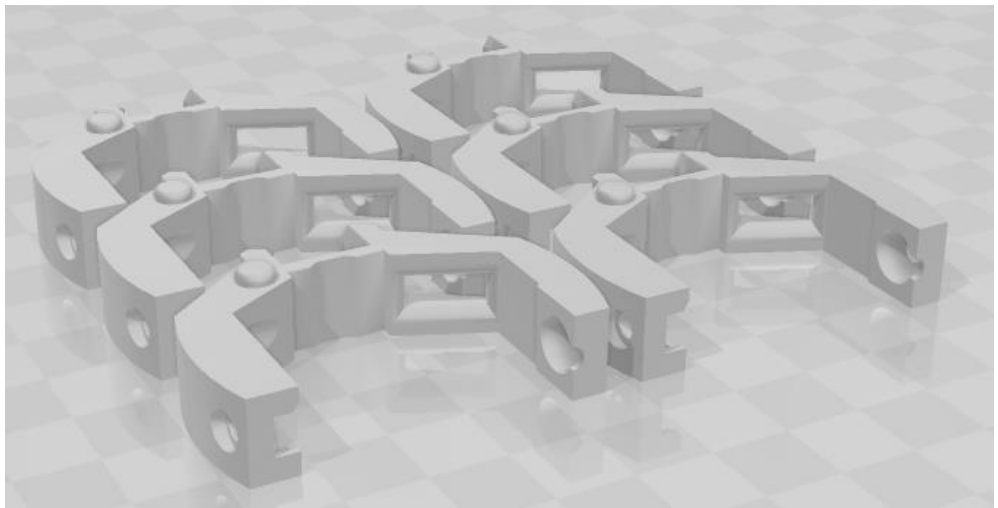
Додаток 1. Шасі



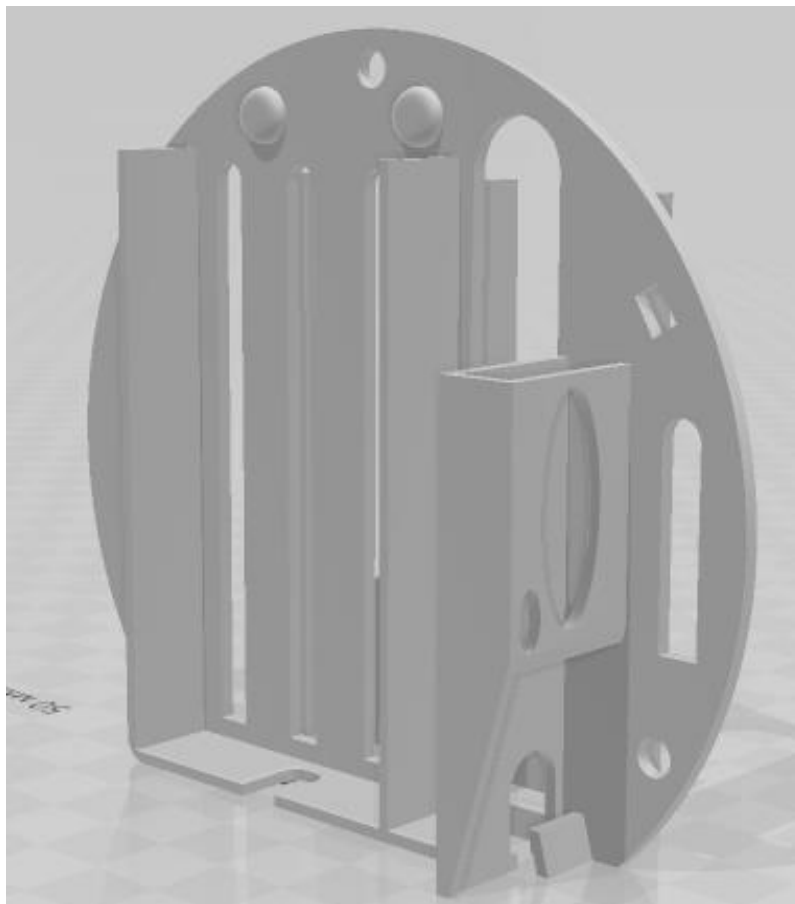
Додаток 2. Кришка



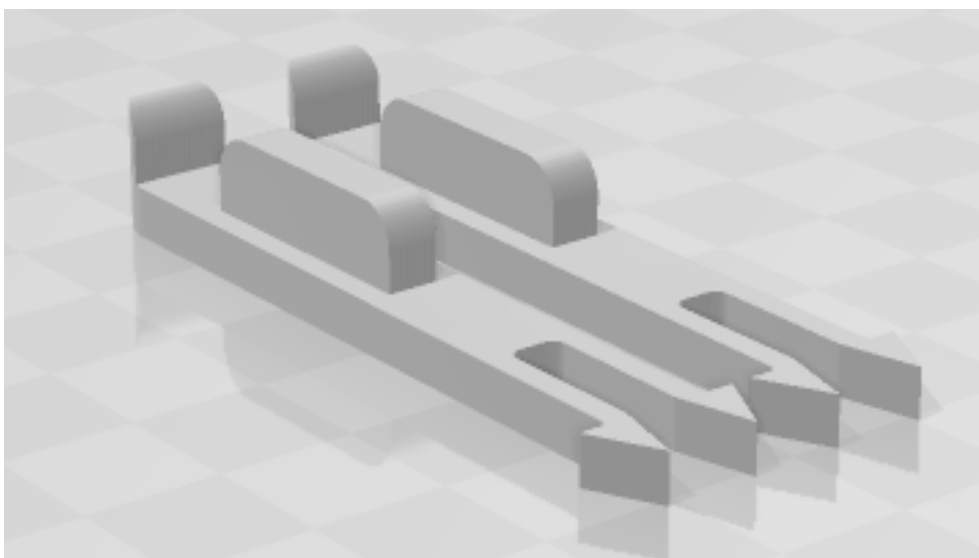
Додаток 3. Ніжки



Додаток 4. Фіксатори



Додаток 5. Тримач плат



Додаток 6. Фіксатори

Програмний код до ГЕКСАПОДА завантажений на google.drive, посилання для перегляду та вивантаження: [«https://drive.google.com/file/d/1D5JJYsHkKOr_UhlOqS5DRDISWn1HFgMU/view?usp=sharing»](https://drive.google.com/file/d/1D5JJYsHkKOr_UhlOqS5DRDISWn1HFgMU/view?usp=sharing)

Програмний код до Пульта керування завантажень на google.drive,
посилання для перегляду та вивантаження:
«https://docs.google.com/document/d/1rDjc-cd-YHyPIsGPP0p-_QCthciB4fu4Rszd7JXndYM/edit?usp=sharing»