

Форма № 24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет
(повне найменування інституту, назва факультету) радіоелектроніки та телекомунікацій
Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

магістр
(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Розробка системи стабілізації
пальоту квадрокоптера

Виконав: студент VI курсу, групи PT-512м
спеціальності (напряму підготовки)

172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Грошка Ігор Сергійович
(прізвище та ініціали)

Керівник Парафонов О.Ю. І.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Чорнобродов М.П.
(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
20 17 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіоелектроніки, радіоелектроніки та телекомунікацій
 Кафедра Інформаційних технологій електронних засобів
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
 (код і назва)
 Напрям підготовки Інтелектуальні технології мікроестетичної радіоелектроніки та телекомунікацій
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТЕЗ
П. М. Шило
 "19" 12 2017 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Крошка Олесе Сергіївна
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка системи стабілізації польоту квадрокоптера

2. Керівник проекту (роботи) Парафонов О.Ю.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Затверджені наказом вищого навчального закладу від "25" жовтня 2017 року № 416

4. Строк подання студентом проекту (роботи) 20.12.2017

5. Вихідні дані до проекту (роботи) MPU 6050, датчики гірокона і акселерометра GY-521

6. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз конструкції квадрокоптерів

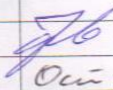
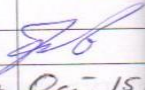
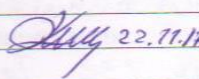
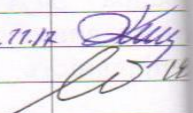
2. Управління квадрокоптером

3. Розробка алгоритму програми стабілізації квадрокоптера

7. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

15 слайдів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
Економіко-організаційна частинка	Фарафонов О.Ю. Остапенко В.В.	 Ос 11.08.17	 Ос 15.08.17
Охор. праці та безп. чин. сп. Нормокопії	Коробко О.В. Ясеньке Т.Е.	 22.11.17	 25.11.17

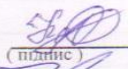
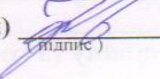
7. Дата видачі завдання 18 вересня 2017 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим.
1	Аналіз конструкції квадрокоптера		
2	Вибір апаратної платформи		
3	Вибір середовища для програмування		
4	Розробка алгоритму програми стабілізації квадрокоптера		
5	Реалізація програмного забезпечення		
6	Створення та тестування фізичного макету квадрокоптера		
7	Охорона праці		
8	Економічне обґрунтування		
9	Створення повномасштабної записки		
10	Сдача, захист магістерської роботи		

Студент

Керівник проекту (роботи)

 (підпис)
 (підпис)
 Коробко О.В. (прізвище та ініціали)
 Фарафонов О.Ю. (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 84с., 13 рис., 9 табл., 12 джерел, 1 додаток.

Темою дипломної роботи є розробка системи стабілізації польоту квадрокоптера.

Мета дипломної роботи: розробка системи стабілізації квадрокоптера, використовуючи датчики положення БЛА (акселерометр, гіроскоп).

Розроблений варіант квадрокоптера базується на такій конструкції: рами Х-типу, моторів A2212 /13T на 1000 kV, різноспрямованих двухлопастних пропелерів, ESC регуляторів 30 A DC :5.5V-12.6VBEC 5/2A, літій-полімерної батареї (LiPo).

На апаратній платформі Arduino Uno.

Квадрокоптер має мікросхему MPU-6050, яка містить модуль 3-х осьового гіроскопа і акселерометра GY-521.

Код стабілізації виконаний у середовищі програмування Arduino Software (IDE).

Розроблена та реалізована ефективна система стабілізації польоту квадрокоптера.

КВАДРОКОПТЕР, СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛЬОТУ, ARDUINO UNO, ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГРАМУВАННЯ.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ КВАДРОКОПТЕРІВ	
1.1 Теорія польоту.....	9
1.2 Рама.....	11
1.3 Мотори.....	13
1.4 Пропелери.....	15
1.5 ESC регулятори.....	15
1.6 Живлення і контролери живлення.....	16
2. УПРАВЛІННЯ КВАДРОКОПТЕРОМ	
2.1 Вибір апаратного забезпечення.....	18
2.2 Вибір середовища програмування.....	27
3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ КВАДРОКОПТЕРА	
3.1 Розробка математичної складової алгоритму.....	30
3.2 PID-регулятори.....	33
3.3 Блок-схема програми стабілізації.....	38
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
4.1 Аналіз потенційних небезпечних чинників при проведенні науково - дослідної роботи.....	42
4.2 Заходи щодо забезпечення безпеки.....	43
4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії і гігієни праці.....	45
4.4 Заходи щодо пожежної безпеки.....	49
4.5 Заходи щодо цивільного захисту.....	51
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ РОЗРОБКИ	
5.1 Обґрунтування технічної частини дипломного проекту.....	55
5.2 Побудова мережного графіка на підставі проведених робіт.....	56
5.3 Розрахунок кошторису витрат на реалізацію проекту.....	63

5.4 Бальна оцінка економічної ефективності науково - дослідної роботи.....	69
5.5 Висновки.....	71
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73
ДОДАТОК А.....	74

ВСТУП

Квадрокоптер – це безпілотний літальний апарат (БЛА). Платформа з чотирма роторами, одна пара обертається за годинниковою стрілкою, друга проти годинникової стрілки. У порівнянні з вертолітним типом, з кріпильними гвинтами, квадрокоптери мають ряд переваг: надійність і простота конструкції, велика стабільність, компактність і маневреність, мала вага при зльоті, та відносно вища швидкість руху.

Середовище використання квадрокоптера досить широке. Він може бути використаний як недорогий та ефективний спосіб одержання фото та відеозображення з повітря, навіть за поганих погодних умов. Оскільки квадрокоптер загалом використовується на дистанційному управлінні, він добре підходить для контролю і управління об'єктами навіть у важкодоступних місцях (наприклад, в разі стихійного лиха або при техногенних аваріях) або в складних умовах наприклад, при високому рівні випромінювання, куди людині складно дістатися. Квадрокоптери використовують для доставки пошти або продуктів харчування для віддалених населених пунктів, наприклад, для мешканців горних поселень.

Необхідність стабілізації польоту квадрокоптера впливає з принципу його роботи. Наприклад, стабільність польоту планера або літака обумовлена їх стійкістю, тобто можливістю поновлювати без втручання пілота кінематичні параметри необуреного руху і повертатися до вихідного режиму польоту після припинення дії збурень. Квадрокоптер ж такою властивістю не володіє і при найменшому зовнішньому впливі починається «некероване зниження» та падіння.

Основним завданням управління такої конструкції є її стабілізація, вона знаходиться під впливом зовнішніх тривожних факторів, таких як сильні пориви вітру.

Мета дипломної роботи: розробка системи стабілізації квадрокоптера, використовуючи датчики положення безпілотного літального апарату акселерометр та гіроскоп.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати наступні задачі:

- Аналіз конструкцій квадрокоптера;
- Вибір апаратної платформи;
- Вибір середовища для програмування;
- Розробка алгоритму програми стабілізації квадрокоптера;
- Реалізація програмного забезпечення;
- Створення та тестування фізичного макету квадрокоптера.

Об'єкт дослідження: безпілотний літальний апарат – квадрокоптер.

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ КВАДРОКОПТЕРІВ

Квадрокоптери, вони ж мультикоптери або просто коптери, — це безпілотні літальні апарати, призначені для розваги, зйомки фото і відео з повітря або відпрацювання автоматизованих систем.

Коптери зазвичай розрізняють по числу моторів — починаючи від бікоптера з двома моторами і закінчуючи октакоптером з вісьмома. Класичним варіантом є квадрокоптер з чотирма двигунами, розташованими на перехресних променях. Таку конфігурацію ще в 1920 році спробував спорудити француз Етьєн Омишен (Étienne Oehmichen), і в 1922 році у нього це навіть вдалося. Це найпростіший і дешевий варіант зробити літальний апарат, здатний без особливих проблем піднімати в повітря невеликі камери начебто GoPro. Якщо необхідно злітати з серйозною фото - і відеотехнікою, то варто вибирати коптер з великим числом моторів — це не тільки збільшить вантажопідйомність, але і додасть надійності, якщо в польоті вийде з ладу один або кілька моторів.

1.1 Теорія польоту

В теорії польоту (аеродинаміці) прийнято виділяти три кута (або три осі обертання), які задають орієнтацію і напрям вектора руху літального апарату. Ці три кута прийнято називати крен, тангаж і рискання. Крен (Roll) — це поворот апарату навколо його подовжньої осі (осі, яка проходить від носа до хвоста). Тангаж (Pitch) — це поворот навколо поперечної осі (нахиляє носом, задирає хвіст). Рискання (Yaw) — поворот навколо вертикальної осі (рис.1.1), найбільше схожий на поворот в «наземному» розумінні. Та загальний газ (Throttle).

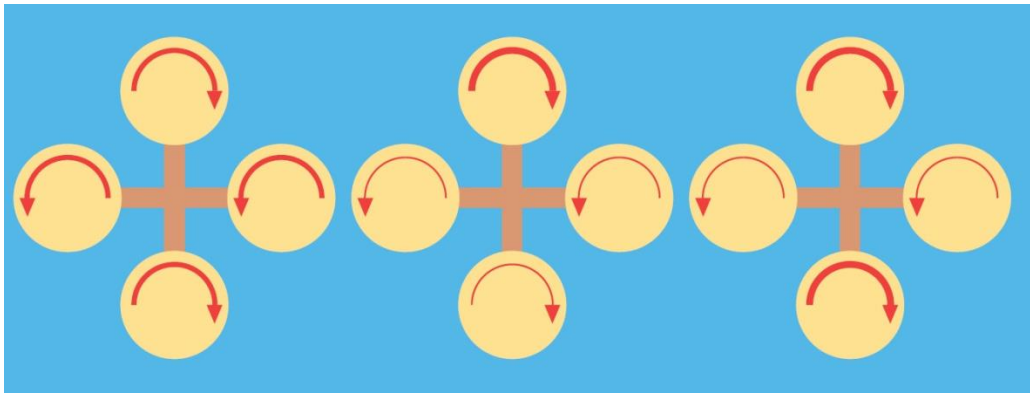


Рисунок 1.1 – Основні маневри (зліва направо): рух по прямій, крен/тангаж та ристання

В класичній схемі вертольота основний гвинт за допомогою автомата перекошу лопатей управляє креном і тангажем. Так як основний гвинт має ненульовий опір повітря, у вертольота виникає обертаючий момент, спрямований у бік, протилежний обертанню гвинта, і, щоб його компенсувати, у вертольота є хвостовий гвинт. Змінюючи продуктивність хвостового гвинта (оборотами або креном), класичний вертоліт управляє своїм ристанням. В ситуації із квадрокоптером складніше. Він має чотири гвинти, два з них обертаються за годинниковою стрілкою, два — проти годинникової. У більшості конфігурацій використовуються гвинти з незмінним креном і керувати можна тільки їх оборотами. Якщо вони всі будуть обертатися з однаковою швидкістю, то вони скомпенсують один одного: ристання, крен і тангаж будуть нульовими.

При збільшенні оборотів одного гвинта, що обертається за годинниковою стрілкою, і зменшенні оборотів іншого гвинта, що обертається за годинниковою стрілкою, відбудеться збереженість загального моменту: обертання і ристання, як і раніше, буде нульовим, але крен або тангаж (в залежності від того, де був зроблений його «ніс») зміняться. А якщо збільшити обороти на обох гвинтах, що обертаються за годинниковою стрілкою, а на гвинтах, що обертаються проти годинникової стрілки, зменшити (щоб зберегти загальну підйомну силу), то виникне обертаючий момент, який змінить кут ристання. Все це буде виконувати бортовий комп'ютер, який буде

приймати сигнал з ручок управління, додавати поправки з акселерометра і гіроскопа і крутити гвинти, в заданному напрямку. Для того щоб спроектувати коптер, необхідно знайти баланс між вагою, часом польоту, потужністю двигунів та іншими характеристиками. Все це залежить від конкретних завдань. Головна ціль полягає в тому, щоб коптер літав вище, швидше і довше, але в середньому час польоту становить від 10 до 20 хвилин в залежності від ємності акумулятора і загальної польотної ваги. Всі характеристики пов'язані між собою, наприклад, збільшення ємності акумулятора призведе до збільшення ваги і, як наслідок, до зменшення часу польоту.

1.2 Рама

Основний момент, який потрібно вирішити при виборі рами, — користуватися готовою, або зробити самодільну. З готовою рамою все простіше. Проте, власну раму, у разі аварії, буде простіше полагодити. Власноруч можна зробити будь-яку, навіть саму креативну та складну конструкцію.

Зробити раму можна з будь-яких підручних матеріалів (дерево, алюміній, пластик і так далі). Можна підійти трохи серйозніше і випилити її на ЧПУ-верстаті з плетеного карбону, причому можна ускладнити завдання і зробити складну конструкцію.

Найпростіший варіант використати квадратну алюмінієву трубу 12×12 , а також алюмінієвий лист товщиною в 1,5 мм. Для того щоб зробити раму з таких матеріалів типу «чотири палиці і кріплення», досить дрилі або ножівки по металу. Але така конструкція може прослужити недовго. Адже, всі ці профілі роблять з дуже м'якого матеріалу (АД31/АД33), при польотах він буде легко гнутися.

В якості зразка для рами можна взяти спрощену заводську раму або ж знайти в інтернеті готові креслення. Більш складні матеріали (наприклад, вуглепластик) можна замінити на алюміній — якщо і вийде важче, то ненабагато. У будь-якому випадку варто звертати увагу на довжину і

симетричність променів. Довжина променів вибирається виходячи з діаметра використовуваних пропелерів, так, щоб після їх установки відстань між колами оберткових гвинтів була не менше 1-2 см, і ці кола не повинні перетинатися. Мотори, що встановлюються на променях, повинні бути рівновіддалені від центру рами, де буде розташовуватися «мозок», і (в більшості випадків) перебувати на одній відстані одне від одного, утворюючи рівносторонній багатокутник. При проектуванні слід урахувати, що центр рами повинен співпадати з центром ваги.

За розташуванням моторів, щодо напрямку польоту, виділяють два основних типи рам: "+" і "X". Підвидом рами типу "X" є рама типу "Н" (рис.1.2). Найбільш популярні рами типу "X". Головна перевага цієї рами — зручне розташування відеокамери, коли промені рами не потрапляють у кадр. У рами типу "X" більш висока стійкість до дрібних аварій.

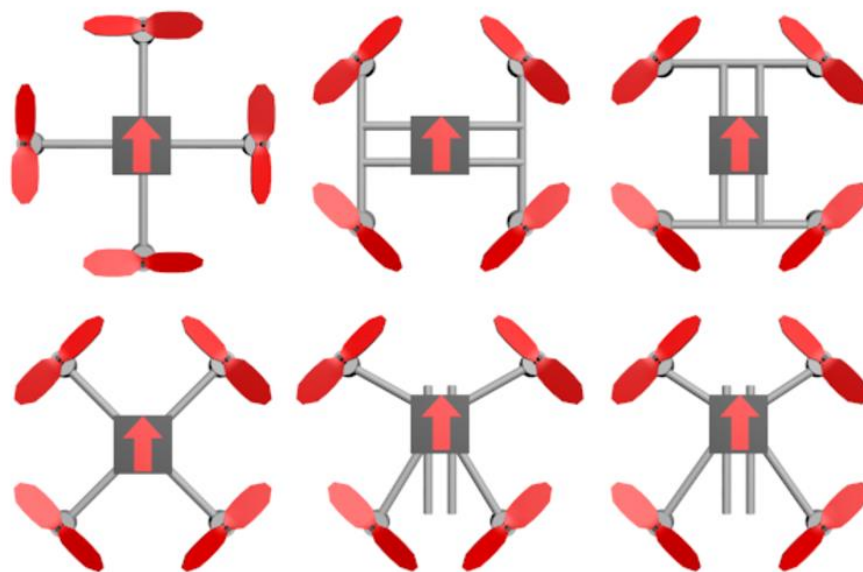


Рисунок 1.2 – Різновиди рам квадрокоптерів ("+", X та Н типу)

У випадку "+"-образної рами весь удар частіше доводиться на один промінь, який сильно страждає, тоді як при розподілі удару на два променя збиток зазвичай обмежується зламаними пропелерами. Крім того, більшості

пілотів психологічно комфортніше керувати саме типом "X" (рис.1.3). У свою чергу, квадрокоптер з рамою типу "+" трохи швидше і гостріше реагує на команди "вправо-вліво" і "вперед-назад", тому більше підходить задля динамічного пілотування[2].



Рисунок 1.3 – Рама квадрокоптера X-типу

Рама типу "H" зручна при побудові мініатюрних коптерів, а також повнорозмірних конструкцій з карбонових трубок і часто використовується при побудові спеціалізованих коптерів для відеозйомки і польотів по GPS, вона надає більше місця для монтажу обладнання.

Зважаючи на усі переваги, для квадрокоптера було обрано раму X-типу. Вона найбільш стабільна та міцна.

1.3 Мотори

У будь-якого пропелера є два основних параметри: діаметр і крок. Їх позначають по-різному: 10×4.5 , 10×45 або просто 1045. Це означає, що діаметр пропелера 10 дюймів, а його крок 4,5 дюйма. Чим довше пропелер і більший крок, тим більшу тягу він зможе створювати, але при цьому підвищиться навантаження на мотор і збільшиться споживання струму, в результаті він може сильно перегрітися і електроніка вийде з ладу. Тому гвинти

підбираються під мотор. Існують і пропелери із змінним кроком, що в теорії підвищить маневреність, але в реальності додасть складну механіку, що має властивість зношуватися і ламатися з подальшим дорогим ремонтом.

Безколекторні двигуни (рис.1.4). У моторів є ключовий параметр — kV . Це кількість оборотів в хвилину, які зробить мотор, на поданий вольт напруги. Це не потужність мотора, це «передаточне число». Чим менше kV , тим менше обертів, але вище крутний момент. Чим більше kV при тій же потужності, тим більше оборотів і нижче момент. При виборі двигуна орієнтуються на те, що в штатному режимі він буде працювати при потужності 50% від максимальної. Не варто думати, що чим kV більше — тим краще, для коптерів з типовою 3S-батареею рекомендоване число знаходиться в діапазоні від 700 до 1000 kV .



Рисунок 1.4 – Мотор A2212 /13T на 1000 kV

Для квадрокоптера обрано мотори на 1000 kV . Виходячи з потужності, вони являються оптимальними для поставленої цілі.

1.4Пропелери

Із-за обертання моторів в різні боки доводиться використовувати різноспрямовані пропелери: прямого обертання (проти годинникової) і зворотнього обертання (за годинниковою стрілкою). Зазвичай, використовуються двухлопастні пропелери (рис.1.5), їх легше балансувати і знайти магазинах, в той час як трилопастеві дадуть більше тяги при меншому діаметрі гвинта, але доставлять багато головного болю при балансуванні[11]. Поганий (дешевий і незбалансований) пропелер може розвалитися в польоті або викликати сильні вібрації, які передаються на датчики польотного контролера. Це призведе до серйозних проблем зі стабілізацією і викличе сильне змазування на відеозйомці.

Тому, обрано різноспрямовані двухлопастні пропелери, завдяки їх простішому балансуванню та стабілізації.



Рисунок 1.5 – Двухлопастні пропелери

1.5 ESC регулятори

Однак мотори підключаються до батареї не безпосередньо, а через так звані регулятори швидкості (рис.1.6). Регулятори швидкості (вони ж «регулювання» або ESC) керують швидкістю обертання моторів, змушуючи коптер балансувати на місці або летіти в потрібному напрямку. Більшість

регуляторів мають вбудований стабілізатор струму на 5 В, від якого можна живити електроніку (зокрема, «мозок»). Вибираються контролери швидкості виходячи із споживання мотором струму, а також можливості перепрошивки. Звичайні регулятори досить повільні в плані відгуку на який надходить сигнал і мають безліч зайвих налаштувань для коптерів.

Мотори підключаються до регулятора швидкості трьома проводами, послідовність не має значення, але якщо поміняти місцями будь-які два з трьох проводів місцями, то мотор буде обертатися у зворотному напрямку, що дуже важливо для коптерів.

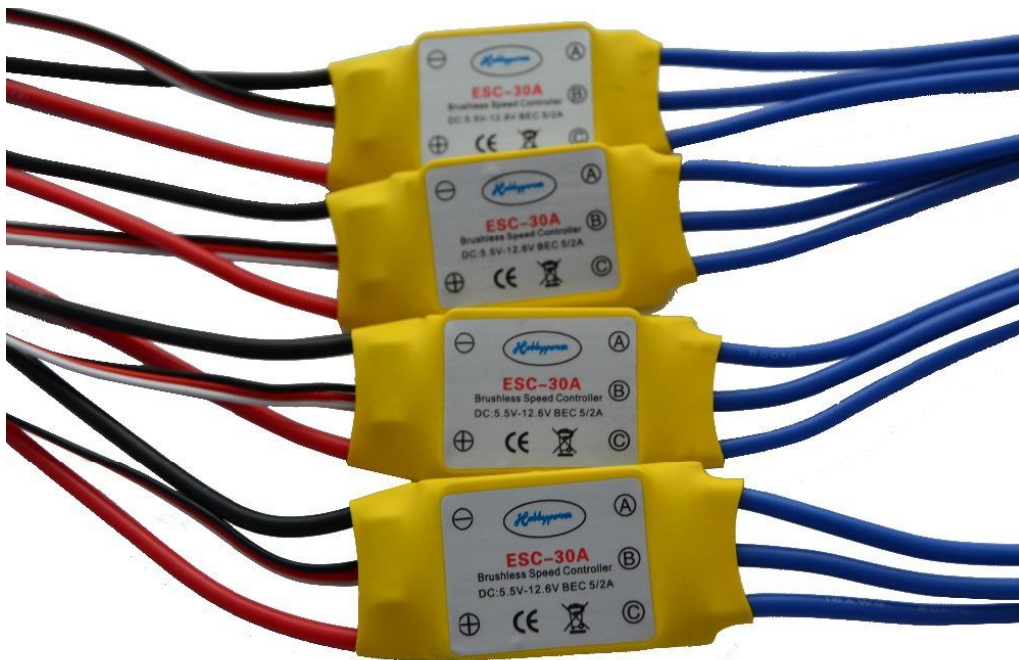


Рисунок 1.6 – ESC регулятори 30 А

1.6 Живлення і контролери живлення

При виборі акумулятора варто звертати увагу на три параметра: ємність, вимірювану в міліампер-годин, максимальний струм розряду в ємностях акумулятора (C) і число клітинок (S). Чим більше потужність мотора, тим більша батарейка йому потрібна. Але чим більше батарейка, тим більше і її вага, що змушує вводити корегування при виборі гвинтів і моторів. На

сьогоднішній день всі використовують літій-полімерні батареї (LiPo). Вони легкі, місткі, з високим струмом розрядки. Єдиний мінус — при негативних температурах працюють погано, але якщо їх тримати в кишені і підключати безпосередньо перед польотом, то під час розряду вони самі злегка розігріваються і не встигають замерзнути.

Таким чином, в магістерській роботі обрана конструкція, складається з:

- 1) Рами Х-типу;
- 2) Моторів A2212 /13T на 1000 kV;
- 3) Різноступінчатих двохлопатистих пропелерів;
- 4) ESC регуляторів 30 A DC :5.5V-12.6VBEC 5/2A;
- 5) Літій-полімерної батареї (LiPo).

Переваги данної збірки — простота в управлінні та універсальність обраних деталей. Оптимальний вибір складових частин квадрокоптера враховує мету роботи. Це дає змогу сконцентруватись на поставленій задачі диплому.

2 УПРАВЛІННЯ КВАДРОКОПТЕРОМ

2.1 Вибір апаратного забезпечення

2.1.1 Вибір версії платформи Arduino

Arduino Uno R3

У мікроконтролер попередньо прошивається завантажувач Boot-Loader, тому зовнішній програматор не потрібен. Пристрій програмується через USB без використання програматорів. Існує кілька версій платформи Arduino. Версія Leonardo базується на мікроконтролері ATmega32u4. Uno, Nano, Duemilanove побудовані на мікроконтролері Atmel ATmega328. Старі версії платформи Diecimila і перша робоча Duemilanoves були розроблені на основі Atmel ATmega168. Arduino Mega2560, в свою чергу, побудована на мікроконтролері ATmega2560. А самі останні версії Arduino Due – на базі мікропроцесора Cortex.

Версія Arduino Uno – є однією з найбільш популярних і широко використовується для невеликих проектів. Вона універсальна, у зв'язку з тим, що піни розпаяні однорядними коннекторами типу «мама». Як правило, цю плату використовують для прототипування проектів, а збір готового пристрою проводять на базі менших плат Arduino, таких як Arduino Nano і Arduino Pro. Це легко зробити тому, що прошивки сумісні, та в більшості випадків, номери контактів не відрізняються[1]. Для Arduino Uno, є багато плат розширення (шилдів), таких як Ethernet shield, motor shield, servo shield та інші.

Arduino Uno існує в різних версіях, таких як R1, R2 і R3. Ці версії не відрізняються за своїми можливостями, тому для магістерської роботи було обрано останню версію Arduino Uno R3(рис.2.1). Вона має два способи виконання: DIP і SMD. Вони відрізняються тим, що мікроконтролер може бути

DIP виконання і вставлений в колодку, або просто розпаяний на платі, якщо це версія CMS.

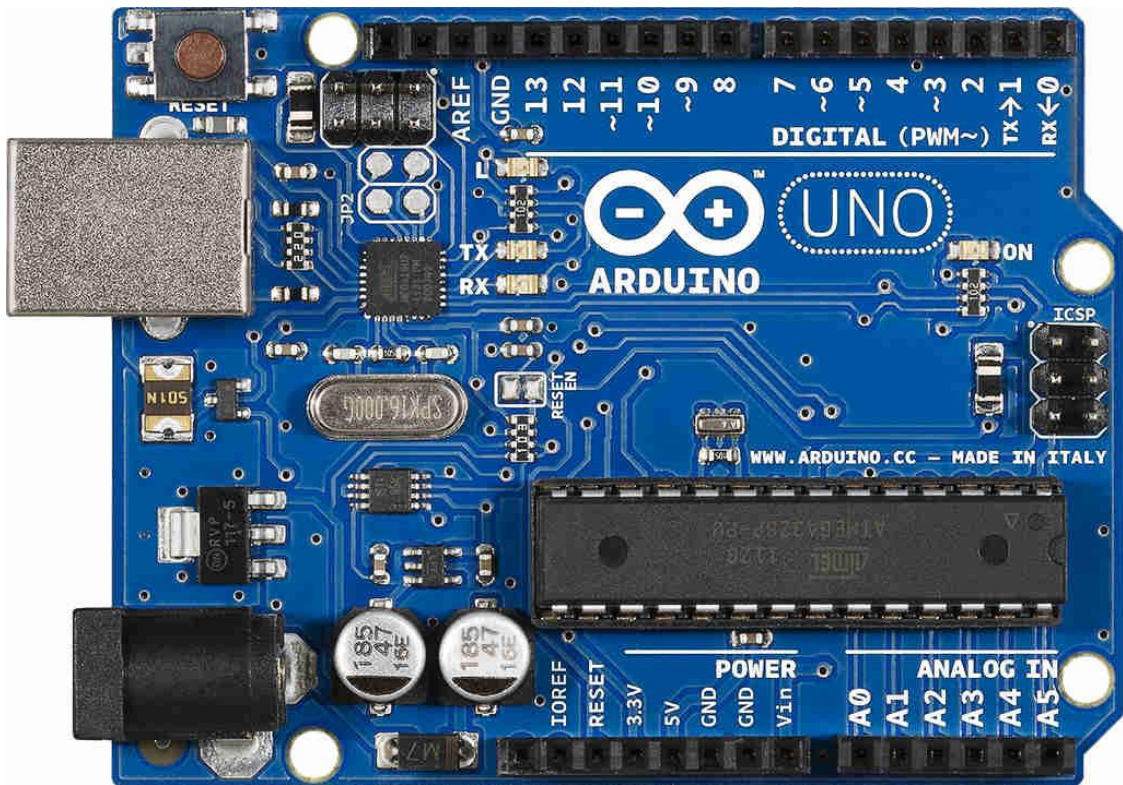


Рисунок 2.1 – Arduino Uno R3

Цей мікроконтролер оснащений чіпом ATmega328, з тактовою частотою 16 МГц. Плата містить: порт USB, роз'єм живлення, кварцовий резонатор, стабілізатори напруги 5 В і 3.3 В, світлодіоди та кнопку "перезавантаження".

Характеристики Arduino UNO:

- 1) Мікроконтролер: ATmega328.
- 2) Діапазон допустимої напруги: 5-20 В.
- 3) Рекомендована напруга живлення: від 7 до 12 В.
- 4) Кількість цифрових виводів: 14.
- 5) ШІМ: 6 цифрових пінів можуть бути використані в якості виводів ШІМ.
- 6) Кількість аналогових виходів: 8.
- 7) Максимальний струм: 40 мА/г з одного 500 мА/г з усіх виводів.

- 8) Флеш-пам'ять: 32 Кб.
- 9) SRAM: 2 Кб.
- 10) EEPROM: 1 Кб.
- 11) Тактова частота: 16 МГц.

Цю плату можна живити чотирма способами:

1) Через USB-порт. Ви можете живити Arduino з комп'ютера, powerbank, смартфон (якщо він підтримує OTG режим) або від адаптера змінного струму в розетці.

2) Через пін +5V. Він являється не тільки піном виводу, а і вводу. На нього треба подавати рівно 5 вольт. В іншому випадку, можна спалити сам мікроконтролер.

3) Через роз'єм живлення на платі. Можна використовувати батарейки, акумуляторні батареї і різні блоки живлення. Цей роз'єм підключається до піну VIN.

4) Через пін VIN. Струм через цей пін проходить через встроєний стабілізатор напруги. В залежності від виробника можна подавати від 5 до 20 В. Стабілізатор не має ККД 100%, при застосуванні 5 В для піна VIN, напруги живлення може бути не достатньо для живлення мікроконтролера, та на цифрових пінах буде не 5 В, а менше. Не можна працювати на максимальну напругу. При 20 В на піні VIN буде дуже нагріватися стабілізатор напруги, аж до виходу із строю. Таким чином, рекомендується використовувати напругу від 7 до 12 В.

Плата має 14 цифрових пінів. На друкованій платі вони позначені із заголовною буквою "D" (digital або цифровий). Вони можуть бути як вхідні, так і вихідні. Робоча напруга цих контактів 5 В. Кожен з них має підтягуючий резистор і подана на один з цих пінів напруга нижче 5 В все одно буде вважатися як 5 В (логічна одиниця).

Аналогові піни на платі позначені ведучою «А». Ці піни є входами і не мають підтягуючих резисторів. Вони вимірюють на них напругу, що надходить, і повертають значення від 0 до 1024 при використанні функції `analogRead()`. Ці піни вимірюють напругу з точністю до 0,005 В[10].

ШІМ Arduino Uno

Якщо уважно подивитися на плату то можна побачити значок тільди (~) поряд з деякими цифровими пінами. Цей значок означає, що даний пін може бути використаний як вихід ШІМ. На деяких платах Arduino цього значка немає, так як виробники не завжди знаходять місце для цього символу на платі. У Arduino Uno є 6 виводів ШІМ, це піни D3, D5, D6, D9, D10 і D11. Для використання ШІМ в Arduino є спеціальна функція `analogWrite()`.

Інші піни:

- `rx0` і `tx1` використовуються для передачі даних по послідовному інтерфейсу;
- виводи D10 (SS), D11 (MOSI), D12 (MISO), D13 (SCK) розраховані для зв'язку по інтерфейсу SPI;
- на виводі D13 є вбудований в плату світло діод;
- A4 (SDA) та A5 (SCL) можуть використовуватися для зв'язку з іншими пристроями по шині I2C.

Arduino Uno має відновлювані запобіжники, які захищають USB-порт комп'ютера від коротких замикань і перевантажень.

Незважаючи на те, що більшість комп'ютерів мають власний захист, такі запобіжники забезпечують додатковий рівень захисту. Якщо від USB-порту споживається струм більше 500 мА, запобіжник автоматично розірве з'єднання до усунення причин короткого замикання або перевантаження.

Arduino Uno має наступні розміри: довжина 69 мм, ширина 53 мм. Однак, роз'єм живлення і роз'єм USB трохи випирають за межі друкованої плати. Arduino Uno важить близько 25 грам. Плата має 4 отвори для можливості її закріплення на поверхні. Відстань між выводами дорівнює 2,5 мм, крім выводів 7 і 8. Між ними 4 мм.

Отже, оптимальним відношенням функціонування-габарити буде Arduino Uno R3. Її характеристики добре підходять для магістерської роботи.

2.1.2 Мікросхема MPU-6050

Мікросхема MPU-6050 містить запатентований компанією InvenSense процесор обробки сигналів, викликаних рухом Digital Motion Processor (DMP), здатний обробляти алгоритми MotionFusion. DMP може бути використаний для складних розрахунків. Власний процесор може робити розрахунки, не відволікаючи мікроконтроллер і навіть здатний обробляти інформацію від іншого датчика, підключеного до другої шини I2C. Спеціальна програма на мові команд DMP записується в пам'ять кожного разу після подачі живлення. Це займає близько секунди. Програма фільтрує показання акселерометра і гіроскопа. Дані передаються в буфер FIFO. Напруга живлення 2,3 – 3,6 В. Номінальна 3,3 В.

Для точного відстеження рухів передбачена можливість запису в пам'ять MPU-6050 актуальних меж вимірювань. Дані можна зчитувати з регістрів зберігання або буфера FIFO розміром 1024 байт. Мікросхема MPU-6050 може працювати в режимі майстер на шині I2C для контактів XDA і XCL. Містить АЦП 16 біт. Є регістр під назвою Who am I, він зберігає адресу модуля GY-521 на шині I2C. Значення в регістрі 104 десяткове або 68 шістнадцяткове. Мікросхема MPU-6050 містить більше 100 регістрів.

Адреса мікросхеми може бути двох значень (без біта читання / запису) залежно від стану виводу AD0 модуля 3-х осьового гіроскопа і акселерометра GY-521 MPU-6050: 68 (шістнадцяткова), якщо AD0 з'єднаний із

загальним проводом, 69 (шіснадцяткова), якщо AD0 з'єднаний з потенціалом лог. 1.

Акселерометр мікросхеми MPU-6050 використовує п'єзоелектричний ефект.

Гіроскоп являє собою коливальну п'єзоелектричних пластину. При повороті пластина викривляється і її електричні параметри змінюються. Це реєструє мікросхема.

Живлення модуля GY-521 надходить на вхід стабілізатора напруги Q2 мікросхеми MIC5205-3.3BM5 з вихідною напругою 3,3 В. На стабілізаторі відбувається невелике падіння напруги 0,3 – 0,4 В, тому напруга живлення модуля має бути вище за 3,3 В. Індикатор живлення модуля 3-х осьового гіроскопа і акселерометра GY-521 MPU-6050 – світлодіод D1. Величина резисторів R4 і R5 може відрізнятись від зазначених на схемі.

Призначення контактів[12]:

- VCC – напруга живлення;
- GND – загальний провід;
- SCL – тактовий сигнал I2C;
- SDA – дані I2C;
- XDA – дані шини I2C при роботі в режимі майстра;
- XCL – тактовий сигнал шини I2C при роботі в режимі майстра;
- AD0 – біт 0 адреси I2C;
- INT – вихід сигналу про готовність даних для використання як зовнішнього переривання МК;

Підключення модуля 3-х осьового гіроскопа і акселерометра GY-521 MPU-6050 до Arduino UNO (рис.2.2):

- 5 V Arduino – VCC;
- GND Arduino – GND;

- A4 Arduino – SDA;
- A5 Arduino – SCL;
- GND Arduino – AD0.

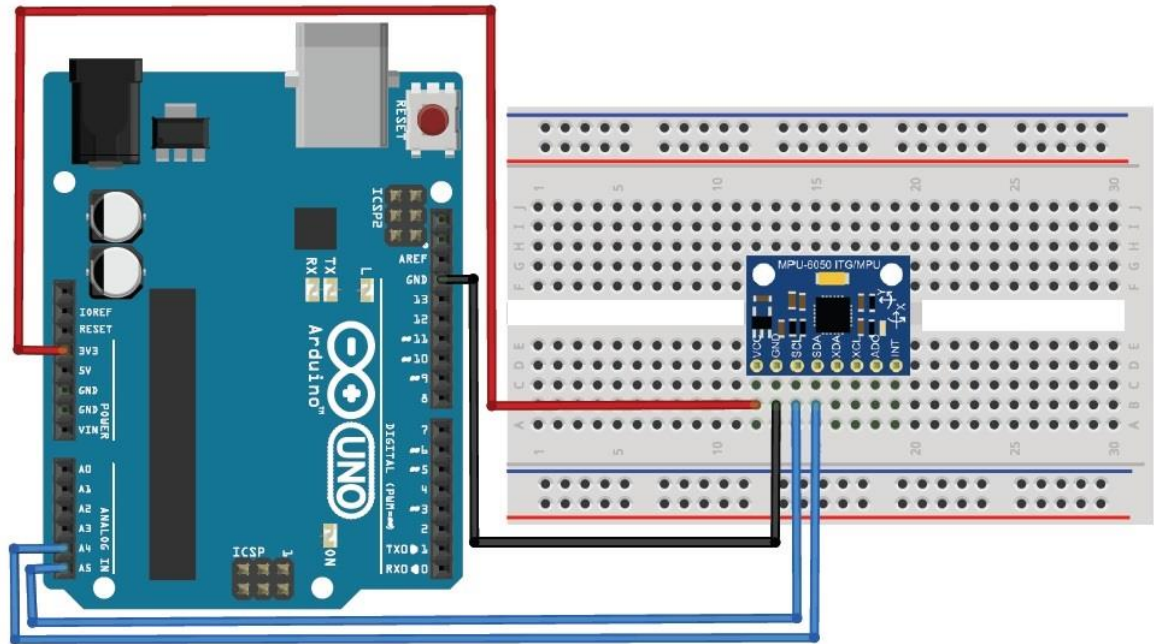


Рисунок 2.2 – Схема підключення гіроскопа і акселерометра GY-521 MPU-6050 до Arduino UNO

Кожен модуль GY-521 потребує калібрування. Показання датчиків мають деякі зміщення відносно нуля, що вносить похибку вимірювання. При виробництві мікросхем неможливо отримати абсолютну точність кута між осями датчиків, тому кут між ними міститься похибка. Дані від трьох осей можуть мати різну пропорційність.

Найбільша точність результатів математичних перетворень для отримання параметрів руху буде отримана при синхронному зчитуванні даних акселерометра і гіроскопа.

При побудові керованої машини слід уникати в механізмах джерел коливань та їх гармонік з частотою резонансу зазначеної в характеристиках.

При першому ознайомленні з модулем перевіряють його роботу на шині даних I2C. Для цього використовують програму I2C сканер.

Модуль дозволяє визначити положення і переміщення приладу в просторі: кути крену та тангажа, орієнтуючись по вектору сили тяжіння і швидкості обертання. При переміщенні визначає лінійне прискорення і кутову швидкість по трьох осях, що дає повну картину стану.

Модуль 3-х осьового гіроскопа і акселерометра GY-521 MPU-6050 є електронним аналогом нашого вестибулярного апарату. Завдяки вестибулярному апарату або схожому органу живі істоти відчують напрям тяжіння. Вестибулярний апарат на підсвідомому рівні дозволяє нам тримати рівновагу.

Завдяки відстеженню вектора сили тяжіння акселерометр може застосовуватися як електронна альтернатива звичайним будівельним рівням. На основі акселерометра будують кутоміри, щодо тяжіння землі – інклінометри. Вони застосовуються для контролю за архітектурними спорудами, при бурінні свердловин.

Комплекс з гіроскопа і акселерометра застосовується для стабілізації об'єкта в необхідному положенні при зовнішніх впливах. Наприклад, підтримання положення об'єктива при зйомці з автомобіля, з борту катера або квадрокоптера.

Застосовуючи гіроскоп-акселерометр GY-521 можна відмовитися від джойстика, рукояток та інших механічних пристроїв в стаціонарних пультах управління[3].

Головне застосування гіроскопа і акселерометра – використання в рухомих напіваавтоматичних і автоматичних системах. Прилад вимірює і повідомляє мікроконтролеру про прискорення і орієнтації. Динамічні параметри рухомого об'єкту, які вимірює модуль 3-х осьового гіроскопа і акселерометра GY-521 MPU-6050: тангаж (ніс вгору і вниз), рискання (ніс вліво і вправо) і

крен (за годинниковою стрілкою або проти годинникової стрілки дивлячись з кабіни об'єкта). Вони в навігаційній системі подаються в МК, який розраховує поточне положення. Політ квадрокоптера без такого модуля неможливий.

Характеристики:

- максимальна частота інтерфейсу I2C становить 400 кГц;
- формат даних: кути Ейлера, кватерніони, матриця повороту або необроблені дані;
- напруга живлення 3,7 – 5,5 В;
- струм до 10 мА;
- гіроскоп споживає 3,6 мА у режимі очікування 5 мкА;
- акселерометр споживає 350 мкА;

В режимі очікування споживання дорівнює:

- 10 мкА для 1,25 Гц;
- 20 мкА для 5 Гц;
- 60 мкА для 20 Гц;
- 110 мкА для 40 Гц.

Якщо прилад розміщений строго горизонтально і не рухається то проекції прискорення сили тяжкості на осі X і Y дорівнюють нулю. Сила тяжіння сприймається тільки чутливими елементами вертикальної осі Z. Час від часу у стані спокою проводять перевірку і калібрування акселерометра. Під час руху об'єкт постійно то прискорюється, то сповільнюється. Ідеально рівномірного руху не існує. Це і дозволяє використовувати акселерометр не тільки для визначення положення об'єкта, але і для визначення динамічних параметрів при русі. Акселерометр реєструє суму прискорення при русі і гравітацію. Якщо від усіх елементів акселерометра по осях X, Y, Z надходять свідчення близькі до нуля, значить, двигун вимкнений і об'єкт знаходиться у вільному падінні.

Якщо квадрокоптер при горизонтальному польоті нахилився, акселерометр фіксує зміну прискорення по осях. До прискорення руху додається прискорення тяжіння в іншому порядку, не так як при польоті без крену. У результаті система управління зробить висновок про рух у бік крену, хоча насправді відбувається горизонтальний рух. Для правильної обробки параметрів руху і вірного розпізнавання динамічних параметрів застосовують спільно акселерометр і гіроскоп[4].

При використанні гіроскопа, він визначить кут повороту і дасть можливість правильно інтерпретувати дані акселерометра. Використання гіроскопа без акселерометра неможливо через особливості математики гіроскопа, які призводять до накопичення похибки. Спеціальна математика дозволяє об'єднати обробку даних від обох датчиків.

Гіроскопи і акселерометри широко застосовуються в авіації, ракетній, космічній та військової техніки. Тому, для магістерської роботи було обрано саме таку мікросхему MPU-6050 з датчиками 3-х осевого гіроскопа і акселерометра GY-521. Для данної мети магістерської роботи та задля вирішення поставлених в ній задач, такий набір модулів буде достатнім. Проте, аби розширити функціонал квадрокоптера, згодом можна додати до нього датчики барометра (для вимірювання висоти та утримання квадрокоптера на ній) та магнітометра (для утримання напрямку руху). Для автономного польоту, можна додати ще GPSприймач.

2.2 Вибір середовища програмування

2.2.1 Arduino Software (IDE)

Інтегроване середовище розробки Arduino – або програмне забезпечення Arduino (IDE) – містить у собі текстовий редактор для написання коду, область повідомлень, консоль, панель інструментів з кнопками, для часто

використовуваних функцій, і меню. Він підключається до апаратних засобів Arduino і Genuino для завантаження програм та спілкування з ними.

Програми, написані за допомогою програмного забезпечення Arduino (IDE), називаються ескізами. Вони написані в текстовому редакторі і зберігаються з розширенням .ino. Редактор має функції для вирізання/вставки та для пошуку/заміни тексту. Область Повідомлень дає зворотний зв'язок при збереженні і експорті, а також відображає помилки. Консоль відображає текстовий вивід програмного забезпечення Arduino (IDE), включаючи загальні повідомлення про помилки та іншу інформацію. У правому нижньому куті вікна відображається налаштована плата та послідовний порт. Кнопки панелі інструментів дозволяють перевіряти і завантажувати програми, створювати, відкривати й зберігати ескізи і відкривати послідовний монітор.

Програмне забезпечення Arduino (IDE) користується скетчбуком: стандартним місцем для зберігання програм (або ескізів). Ескізи можна відкрити в з меню Файл > блокнот або від кнопки "відкрити" на панелі інструментів. При першому запуску програмного забезпечення Arduino, він буде автоматично створювати новий скетч за стандартним шляхом розташування скетчбука.

Дозволяє управляти більш ніж одним ескізом (кожен з яких відображається у власній вкладці). Це може бути звичайні файли коду Arduino (без видимого розширення), з файлами (.розширення C), C++ файлів (.CPP), або файли бібліотек (.h).

Коли завантажується ескіз, використовується завантажувач Arduino, невелика програма, яка була завантажена на мікроконтролер на данній платі. Це дозволяє завантажувати код без використання додаткових апаратних засобів. Завантажувач активний протягом декількох секунд, після скидання та перевантаження плати; потім починає завантаження, для ескіза, який нещодавно був завантажений в мікроконтроллер. Завантажувач блимає вбудованим (піном 13) світлодіодом при запуску (або при перезавантаженні плати).

Програмне забезпечення Arduino (для IDE) містить в собі вбудовану підтримку різних плат, всі вони засновані на AVR ядрі. Менеджер плат, що входить в стандартну установку, дозволяє підтримувати зростаюче число нових плат на базі різних ядер, таких як Arduino due, Arduino zero, Edison, Galileo і так далі.

Перед початком роботи з програмою, необхідно обрати потрібну платформу Arduino (рис.2.3) та порт.

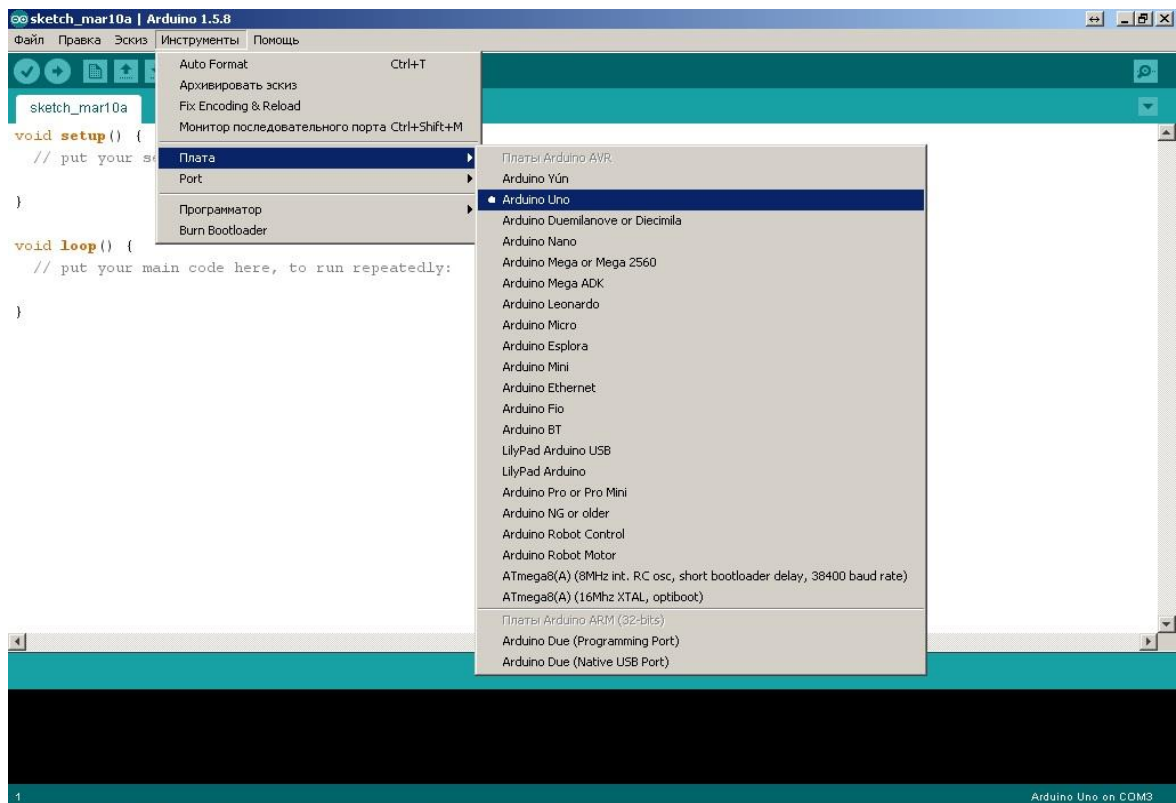


Рисунок 2.3 – Вибір потрібної плати в настройках програми Arduino (IDE)

Данна програма є найбільш функціональною та універсальною для цілей магістерської роботи.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ КВАДРОКОПТЕРА

3.1 Розробка математичної складової алгоритму

Програмне забезпечення Arduino дозволяє встановити бібліотеки для GY-521. Є складна бібліотека I2Cdevlib для доступу до MPU-6050 і інших пристроїв на шині I2C. Вона встановлюється в папку MPU6050. Використовує апаратний буфер мікросхеми і можливості цифрової обробки параметрів руху MPU-6050 для виконання перетворення даних між різними системами координат і об'єднує дані від декількох датчиків.

Ще одна корисна бібліотека FreeIMU, орієнтована на інерціально вимірювальний блок з декількох датчиків і може виконувати складну обробку даних.

У магістерській роботі буде використовуватись бібліотека I2Cdevlib, завдяки її універсальності.

Прикладами згенерованої інформації під час роботи підпрограм бібліотеки є:

MPU-6050

Read accel, temp and gyro, error = 0

accel x,y,z: -123, -180, 14547

gyro x,y,z : -6, -20, 52,

MPU-6050

Read accel, temp and gyro, error = 0

accel x,y,z: -195, -203, 14510

gyro x,y,z : -15, 14, 72,

MPU-6050

Read accel, temp and gyro, error = 0

accel x,y,z: -232, -268, 14490

gyro x,y,z : -4, -7, 45,

MPU-6050

Read accel, temp and gyro, error = 0

accel x,y,z: -189, -170, 14632

gyro x,y,z : -4, -7, 50,

На початку програми повинно відбуватися калібрування за першим 10 даними для отримання постійних похибок (зміщень) від датчиків. Зміщення віднімається з необроблених значень датчика до перетворення даних в кути.

Для обчислення орієнтації акселерометром, треба використовувати той факт, що відбувається постійне гравітаційне тяжіння 1 g. Якщо немає додаткових сил, діючих на акселерометр, то виявлена величина прискорення буде дорівнювати 1 g.

Згідно опису MPU-6050, сирі дані акселерометра програмою перетворюються на прискорення вільного падіння $g=9,8 \text{ м/с}^2$ шляхом ділення на коефіцієнт 16384. При переміщенні і обертання датчика, дані акселерометра сильно коливаються. Якщо вони можуть бути очищені від шумів, то акселерометр забезпечить точні результати.

Для обчислення орієнтації, необхідно спочатку ініціалізувати гіроскоп з відомим значенням (можливо, від акселерометра), потім виміряти кутову швидкість ω через інтервали часу Δt . Тоді $\omega \times T =$ зміна кута. Проблема з цим підходом полягає в тому, що відбувається інтегрування. Багаторазове

підсумовування збільшення $\omega \times T$ призведе до зростаючої з часом помилки. Це є причиною гіроскопічного дрейфу.

Поділ сирих даних гіроскопа на 131 дає кутову швидкість в градусах в секунду. 131 - коефіцієнт чутливості гіроскопа в заданому режимі 250 град/с. Оскільки у нього АЦП 16 біт, то модуль максимального необробленого значення дорівнює 32767. Тепер $32767 / 250 = 131$ умовних одиниць на градус в секунду. Тобто, якщо необроблене значення дорівнює 131, то кутова швидкість дорівнює 1 градус в секунду.

З допомогою цих даних можна отримати положення об'єкта. Для цього миттєве значення кутової швидкості помножається на проміжок часу між опитуваннями датчика гіроскопа. Наприклад, дозвіл 2000 градусів в секунду, час між опитуваннями 0,1 з, значення миттєвої швидкості 210, значить $210 \times 0,1 = 21$ – за цей час стався поворот на 21 градус. Далі кожне отримане значення потрібно скласти з попереднім.

Дані акселерометра і гіроскопа схильні до систематичних помилок. Акселерометр забезпечує отримання точних даних в довгостроковій перспективі, але дає сильний шум при розгляді за короткий проміжок часу. Гіроскоп забезпечує отримання точних даних про зміну орієнтації за короткий проміжок часу, але при інтеграції даних відбувається дрейф.

Вирішення цих проблем полягає у використанні даних акселерометра і гіроскопа разом таким чином, щоб помилки взаємно знищувалися. Стандартний спосіб об'єднання – застосування фільтра Калмана, який є досить складною методикою. Є більш проста апроксимація для об'єднання цих двох типів даних – комплементарний фільтр. Формула комбінування даних обох датчиків:

$$\text{Кут фільтра} = \alpha \times (\text{Кут від гіроскопа}) + (1 - \alpha) \times (\text{Кут від акселерометра})$$

$$\alpha = \tau / (\tau + \Delta t)$$

$$\text{Кут від гіроскопа} = (\text{Останній виміряний кут фільтром}) + \omega \times T$$

T = час вибірки

τ = постійна часу перевищує інтервали між шумами

Кут фільтра – відфільтрований, результуючий кут нахилу

Рекомендується час вибірки близько 0,04 с і постійна часу близько 1 с, що дає $\alpha \approx 0,96$.

Величина кута нахилу являє собою суму інтегрованого значення гіроскопа і миттєвого значення акселерометра. Головне завдання комплементарного фільтра в тому, щоб ліквідувати дрейф нуля гіроскопа і помилки дискретного інтегрування. На кожному кроці інтегрування (кроці циклу управління машиною) коригується інтеграл кута нахилу за допомогою показань акселерометра. Сила цієї корекції визначається коефіцієнтом фільтра α . Вибір коефіцієнта α залежить від величини дрейфу нуля гіроскопа, від швидкості накопичення помилок обчислення і від умов використання машини. Так, занадто мале значення α призведе до того, що на результат роботи фільтра буде впливати вібрація корпусу. Коефіцієнт комплементарного фільтра підбирається вручну для кожного випадку.

3.2 PID-регулятори

Регулятор, що працює за таким принципом, має високу точність. Решта критеріїв якості регулювання – швидкодія і стійкість – у нього не на висоті.

Для того щоб домогтися високих показників для всіх критеріїв необхідно використовувати регулятор, який об'єднує в собі різні закони регулювання. Саме таким пристроєм є пропорційно-інтегрально-диференціюючий (ПІД) регулятор. Він формує вихідний сигнал, який є сумою трьох складових з різними передавальними характеристиками. Завдяки цьому ПІД регулятор забезпечує високу якість регулювання і дозволяє оптимізувати управління за окремими критеріями.

У формуванні вихідного сигналу ПД регулятора беруть участь:

- Пропорційна складова - значення пропорційної помилки неузгодженості (різниці заданого і реального значень регульованого параметра).
- Інтегруюча складова - інтеграл помилки неузгодженості.
- Дифференціююча складова - похідна помилки неузгодженості.

Математична форма запису закону ПД регулятора має вигляд:

$$o(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d de(t)/dt \quad (2.1)$$

- $o(t)$ - вихідний сигнал;
- P - пропорційна складова;
- I - інтегруюча складова;
- D - дифференціююча складова;
- K_p, K_i, K_d - коефіцієнти пропорційної, інтегруючої, дифференціюючої ланок;
- $e(t)$ - помилка неузгодженості.

У схематичному та структурному вигляді ПД регулятор можна уявити так.

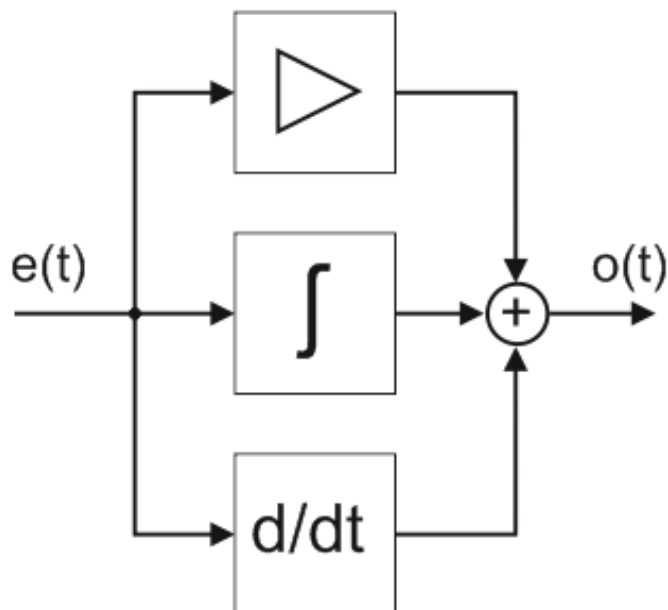


Рисунок.2.2– Схематичний вигляд ПД регулятора

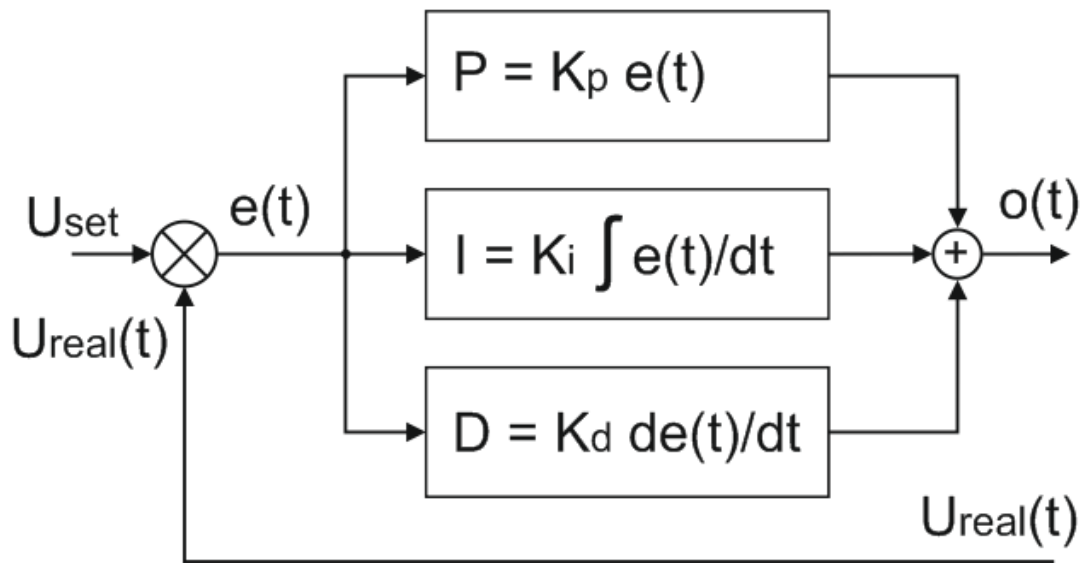


Рисунок 2.3 – Структурна схема ПІД регулятора напруги U

Вимірювана напруга $U_{real}(t)$ віднімається з заданого U_{set} . Отримана помилка неузгодженості $e(t)$ надходить на пропорційне, що інтегрує дифференціюючу ланку. В результаті суми складових виходить керуючий вплив $o(t)$, який подається на регулюючий елемент. При програмній реалізації ПІД регулятора обчислення вихідного сигналу відбуваються через рівні проміжки часу. Тобто регулятор є дискретним за часом.

Складові ПІД регулятора. Вихідний сигнал ПІД регулятора це сума трьох складових: пропорційна; інтегруюча; диференціююча.

$$\text{Пропорційна складова. } P(t) = K_p * e(t) \quad (2.2)$$

Не має пам'яті, тобто значення вихідного сигналу не залежить від попереднього стану системи. Помилка неузгодженості, помножена на коефіцієнт, передається на вихід. Вихідний сигнал компенсує відхилення регульованого параметра. Сигнал тим більше, чим більше помилка неузгодженості. При помилку рівною 0, сигнал на виході теж дорівнює 0.

Пропорційна складова не здатна компенсувати помилку повністю. Це видно з формули. Вихідний сигнал в K_p разів більше помилки. Якщо помилка неузгодженості дорівнює 0, то і вихідний сигнал регулятора дорівнює 0. А тоді і компенсувати нічим.

Тому в пропорційних регуляторах завжди існує так звана статична помилка. Зменшити її можна за рахунок збільшення коефіцієнта K_p , але це може привести до зниження стійкості системи і навіть до автоколивань.

До недоліків пропорційних регуляторів слід віднести:

- наявність статичної помилки регулювання;
- невисока стійкість при збільшенні коефіцієнта.

Є вагома перевага: висока швидкість регулювання. Реакція пропорційного регулятора на помилку неузгодженості обмежена тільки часом дискретизації системи.

Регулятори, що працюють тільки за пропорційним законом, застосовують рідко. Головне завдання пропорційною складовою в ПД регуляторі - підвищити швидкодію.

Інтегруюча складова.

$$I(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2.3)$$

Пропорційна інтегралу помилка неузгодженості. З урахуванням тимчасової дискретності регулятора можна написати так:

$$I(t) = I(t-1) + K_i * e(t) \quad (2.4)$$

- $I(t-1)$ - значення I в попередній точці тимчасової дискретизації.

Помилка неузгодженості множиться на коефіцієнт і додається до попереднього значення інтегруючої ланки. Тобто, вихідний сигнал весь час накопичується і з часом збільшує свій вплив на об'єкт. Таким чином, помилка неузгодженості повністю компенсується навіть при малих значеннях помилки і коефіцієнта K_i . У сталому стані вихідний сигнал регулятора повністю забезпечується інтегруючою складовою.

До недоліків інтегрального регулятора слід віднести:

- низька швидкодія;
- посередня стійкість.

До переваг можна віднести здатність повністю компенсувати помилку неузгодженості при будь-якому коефіцієнті посилення.

На практиці часто використовують інтегруючі регулятори (тільки інтегруюча складова) і пропорційно-інтегруючі (інтегруюча і пропорційна складові).

Головне завдання інтегруючої ланки в ПД регуляторі - компенсація статичної помилки, забезпечення високої точності регулювання.

Дифференціююча складова.

$$D(t) = K_d de(t)/dt \quad (2.5)$$

Пропорційна швидкості зміни помилки неузгодженості. Своєрідний показник прискорення помилки неузгодженості. Дифференціююча складова передбачає відхилення регульованого параметра в майбутньому і протидіє цьому відхиленню. Як правило, вона компенсує запізнювання впливу регулятора на об'єкт і підвищує стійкість системи.

З урахуванням тимчасової дискретності регулятора дифференціюючу складову можна обчислити так:

$$D(t) = K_d * (e(t) - e(t_1)) \quad (2.6)$$

Вона показує, наскільки змінилося значення помилки неузгодженості за одну тимчасову одиницю дискретності регулятора.

Регуляторів, що складаються з єдиної дифференціюючої ланки, не буває.

Головне завдання дифференціюючої ланки в ПД регуляторі - підвищення стійкості.

Якість регулювання ПД регуляторів в значній мірі залежить від того, наскільки оптимально обрані коефіцієнти. Коефіцієнти ПД регулятора визначаються на практиці в системі з реальним об'єктом шляхом підбору. Існують різні методики настройки.

Про якість регулювання судять по перехідній характеристиці регулятора. Тобто за графіком зміни регульованого параметра в часі.

До традиційних пунктів послідовності настройки ПД регулятора можна додати, що, перш за все, необхідно визначити які критерії якості регулювання краще.

Деякі регулятори працюють в умовах значних перешкод і їм важливіша стійкість, від інших потрібна висока швидкодія навіть на шкоду точності. Критерії оптимізації можуть бути різними. У загальному випадку ПД регулятори налаштовують для забезпечення всіх критеріїв якості регулювання на високому рівні.

Складові ПД регулятора налаштовуються окремо.

- Відключається інтегруюча і дифференціююча ланки і вибирається коефіцієнт пропорційної ланки. Якщо регулятор пропорційно-інтегруючий (відсутня дифференціююча ланка), то треба домогтися повної відсутності коливань на перехідній характеристиці. Під час налаштування регулятора на високу швидкодію коливання можуть залишитися. Їх буде компенсувати дифференціююча ланка.

- Підключається дифференціююча ланка. Її коефіцієнтом треба прибрати коливання параметра регулювання. Якщо не вдається, то треба зменшити пропорційний коефіцієнт.

- За рахунок інтегруючої ланки відбувається прибирання залишкової помилки неузгодженості.

Налаштування ПД регулятора носить ітераційний характер. Тобто пункти підбору коефіцієнтів можуть багаторазово повторюватися до тих пір, поки не буде досягнутий прийнятний результат.

Завдяки високим характеристикам і універсальності ПД регулятори широко застосовуються в системах автоматизації виробництва.

3.3 Блок-схема програми стабілізації

Розглянуте математичне забезпечення використанно при розробці програми системи стабілізації польоту квадрокоптера. На рис.3.1 наведено алгоритм її роботи. Основні кроки його роботи містять: калібровку даних, отриманих з мікросхеми MPU 6050, визначення поточних значень кута нахилу, отримання коригуючих значень кутової швидкості та зміна швидкості на кожному моторі.

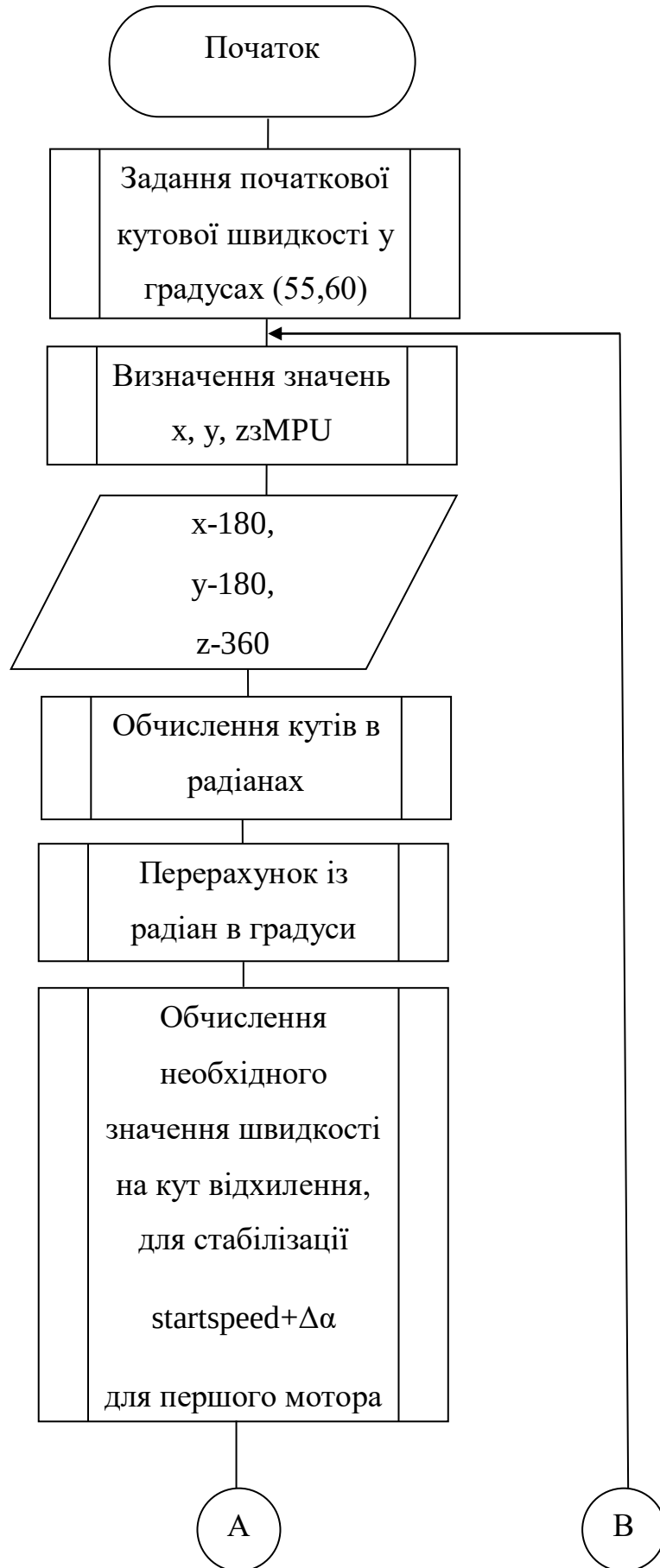
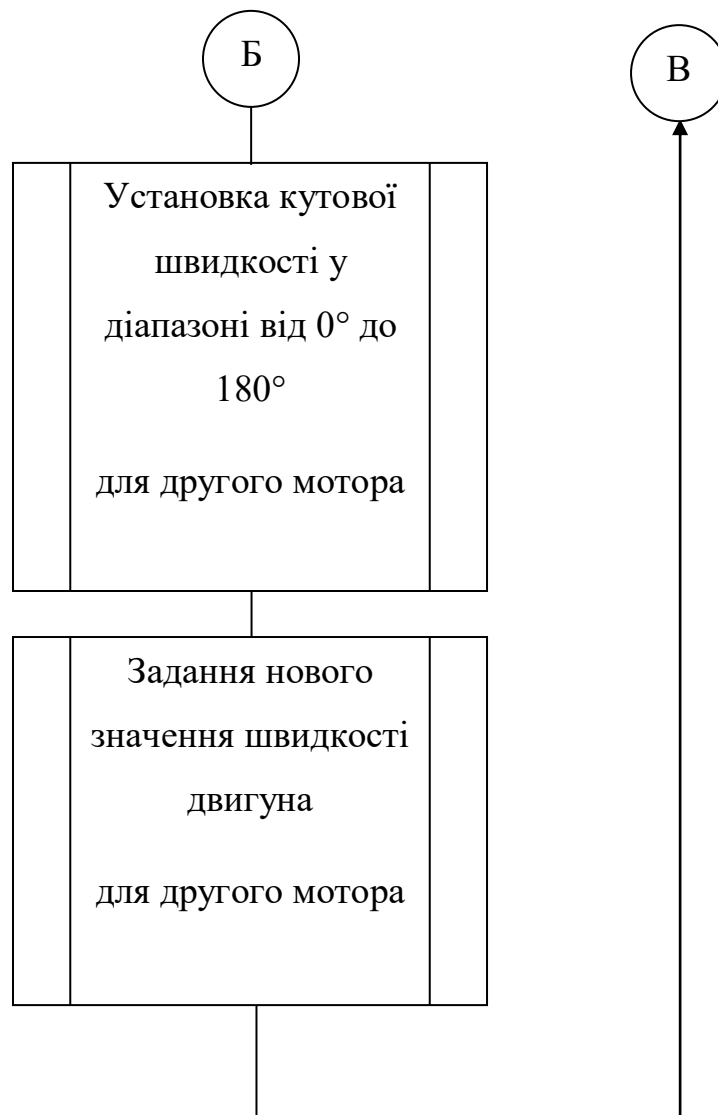


Рис 3.1 – Блок-схема алгоритму системи стабілізації польоту квадрокоптера



Продовження рис.3.1 – Блок-схема алгоритму системи стабілізації польоту квадрокоптера



Продовження рис.3.1 – Блок-схема алгоритму системи стабілізації польоту квадрокоптера

З використанням бібліотеки I2Cdevlib та середовища програмування програми Arduino (IDE) розроблено програмне забезпечення системи стабілізації польоту квадрокоптера. Текст програми наведено у Додатку А.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпечних чинників при проведенні науково-дослідної роботи

При проведенні розробки стабілізації польоту квадрокоптера, у середовищі розробки Arduino, проектування проводиться з використанням персонального комп'ютера. На інженерів, які працюють на персональних комп'ютерах (ПК), постійно або періодично діють такі небезпечні та шкідливі фактори:

- забруднення повітря шкідливими речовинами, пилом і позитивними аерофонами;
- невідповідність нормам параметрів мікроклімату;
- широкий спектр випромінювання від дисплея;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;- незадовільне освітлення робочих зон, внаслідок виходу з ладу або забрудненості освітлювальних приладів, що може призвести до погіршення зору або механічних травм;
- підвищена яскравість монітора (недостатня освітленість);
- знижена контрастність;
- тривале перебування в тому ж положенні, і повторення тих самих рухів призводить до синдрому тривалих статичних навантажень (СТСН);
- невідповідність ергономічних характеристик обладнання нормованих величин;
- монотонність праці;
- нервово-емоційні стресові навантаження;
- небезпека виникнення пожежі.

Аналізуючи ризик потенційних небезпек, можна додати такі:

а) Недостатня професійна підготовка працівників, причина – низький рівень професійних знань та навичок та відсутність проведення усіх необхідних інструктажів з охорони праці, що може призвести до аварійних ситуацій;

б) Можливість ураження електричним струмом при виконанні частини дослідних робіт на робочій зоні, що може бути пов'язано з порушенням правил електробезпеки, зокрема, відсутність захисного заземлення, частково оголені дроти, що можуть привести до електричних травм або летальних наслідків. Згідно з ГОСТ 12.2.003-74 "Оборудование производственное. Общие требования безопасности" и ГОСТ 12.1.019-79 "Электробезопасность";

в) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях. Зокрема укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту. Причинами пов'язаними з неправильним або взагалі відсутнім укриттям населення в надзвичайних ситуаціях можуть бути недосвідченість персоналу або неправильні дії керівництва, що може привести до важких травм, летальних наслідків і масштабних руйнувань.

4.2 Заходи щодо забезпечення безпеки

Заходи щодо техніки безпеки - це система організаційних і технічних засобів, що запобігає або зменшує вплив на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів[5].

Згідно класифікації приміщень за ступенем безпеки ураження електричним струмом ГОСТ 12.1.019-79 "Электробезопасность", приміщення конструкторського бюро (КБ) відносяться до категорії приміщень без підвищеної небезпеки, тому що відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більше 27°C, відсутня хімічно агресивне середовище.

Робочі місця інженерів відповідають ГОСТ 12.2.003-74 "Оборудование производственное. Общие требования безопасности" и ГОСТ 12.1.019-79 "Электробезопасность". Складові частини виробничого обладнання (у тому

числі кабелі, проводи тощо) виконані з таким розрахунком, щоб виключити можливість їх випадкового пошкодження, яке викликає небезпеку. Конструкцію виробничого обладнання передбачений захист від ураження електричним струмом. Для доступу до струмоведучих частин при ремонті або огляді необхідно розкрутити кріпильні гвинти і зняти кришку. Металеві частини виробничого обладнання, які можуть в результаті пошкодження ізоляції опинитися під електричною напругою небезпечної величини, заземлені або занулені. Провідники занулення вибрані так, щоб при замиканні на корпус або на нульовий провід виникав струм короткого замикання, сила якого перевищує не менш ніж у три рази номінальну силу струму плавкої вставки найближчого запобіжника.

Дисплей комп'ютера здатний накопичувати статичний заряд. Небезпека зарядів статичного електрики виявляється у можливості виникнення електричних зарядів у просторі, впливі на обслуговуючий персонал та порушенні нормального ходу робочого процесу. Вплив статичного електрики на обслуговуючий персонал позначається у розрядах статичних зарядів через людину та вплив електростатичного поля. Безпосередньо струм розряду не є небезпечним, оскільки час його протікання через тіло людини малий (дорівнює декільком мілісекундам). Такі короточасні імпульси можуть викликати електричні удари, які супроводжуються болючим уколом, що призводять до переляку.

Для зниження рівня статичної електрики передбачено екранування джерела статичної електрики (монітора) захисним екраном і заземлення екрану згідно ГСанПиН 3.3.2.007-98 "Государственные санитарные правила и нормы работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-вычислительных машин".

У схемі електричних ланцюгів передбачено пристрій, який централізовано відключає від живильної мережі всі електричні ланцюги. У

відділі всі мережеві розетки мають написи зі значенням напруги і застережливий знак.

До основних ергономічних завдань організації робочого місця згідно з ДСТУ ГОСТ 12.2.061: 2009 "Общие требования безопасности к рабочим местам" відносяться:

- визначення просторових параметрів робочого місця і його елементів, які відповідають антропометричним характеристикам контингенту працюючих;
- оптимальне розміщення елементів робочого місця відносно користувача на основі аналізу його діяльності.

Обладнання і організація робочого місця працюючих з ПК забезпечує відповідність конструкції всіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності (ГОСТ 12.2.032-78 "Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования", ГОСТ 22.269-76 "Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования", ГОСТ 21.889-76 "Система "человек-машина" Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования").

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Для нормальної експлуатації машин електронної та обчислювальної техніки і високопродуктивної праці робітників та інженерно-технічного персоналу в процесі проектування пристрою передбачений наступний комплекс заходів:

- а) забезпечення оптимального мікроклімату;
- б) застосування оптимального освітлення;
- в) створення оптимальних умов праці на робочому місці;

г) зниження психоемоційного і фізичного навантаження.

Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря приміщення, в якому розташоване КБ відповідає вимогам ГОСТ 12.1.005-88. У приміщенні застосована система кондиціонування, а також регулярно проводиться провітрювання. В приміщенні регулярно здійснюється вологе прибирання.

Згідно ДБН В. 2.5-28-2006 в приміщенні застосований змішаний тип освітлення, що відповідає II-III розряду зорової роботи. У якості джерела штучного освітлення застосовані лампи денного світла, які разом зі світильниками вмонтовані в стелю. У світлий час доби в основному застосовується природне освітлення, що забезпечується наявністю вікон. При необхідності (захист від прямих сонячних променів), вікна закривають жалюзі. Ввечері або в похмуру погоду персонал включає штучне освітлення.

Правильна організація робочого місця – створення на робочому місці необхідних умов для продуктивної роботи і виконання роботи високої якості, при найбільш повному використанні обладнання, малих розтратах фізичної та емоційної енергії працівника, підвищення змістовності і привабливості праці, збереження здоров'я працюючих.

При розміщенні обладнання витримуються необхідні проміжки між обладнанням, відстані від стін, які забезпечують свободу пересування людей, зручність виконання робіт і безпеку працюючих. Робочі місця операторів ПК, а так само ділянки підготовки технічних носіїв інформації розташовані в ряди. Розташування місць може бути дворядним, трехрядним, чотирирядним, а також прямим і поперечним.

На організацію роботи впливає конструкція і параметри основного і допоміжного обладнання, які відповідають вимогам ергономіки: оптимальному розподілу функцій у системі людина – машина. Конструкція обладнання відповідає антропометричним і психофізіологічним даним організму працюючого. Витримані допустимі параметри санітарно-гігієнічних умов праці, а також безпеки експлуатаційного обладнання.

Конструкція робочого столу забезпечує оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання, враховуючи його масогабаритні і конструктивні особливості.

Висота робочої поверхні столу регулюється в межах 680-800 мм, при відсутності такої можливості висота робочої поверхні столу становить 725 мм. Модульними розмірами робочої поверхні столу для ПК, розраховуються конструктивні розміри, слід вважати: ширину 800, 1000, 1200, 1400 мм, глибину 800 і 1000 мм, при нерегульованій його висоті, рівної 725 мм.

Робоче місце обладнане підставкою для ніг, має ширину не менше 300 мм, глибину не менше 400 мм, регулювання по висоті в межах до 150 мм і по куту нахилу опорної поверхні підставки до 200°. Підставка має рифлену поверхню.

Конструкція робочого стільця (крісла) підтримує раціональну робочу позу при роботі з ПК, дозволяє змінювати позу з метою зниження статичного напруження м'язів шийно-плечової області і спини для попередження стомлення. Робочий стілець (крісло) є підйомно – поворотним і регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також відстані від переднього краю сидіння.

Конструкція стільця повинна забезпечувати максимум результатів праці. Досягти цього можна, лише освоївши раціональні методи і прийоми праці на робочому місці. Тільки вони дозволяють виконати задану роботу якісно, у мінімальний термін і без зайвої напруги.

Специфіка роботи таких працівників полягає у великих зорових навантаженнях разом з маленькою активністю, монотонністю виконаних операцій, вимушеною робочою позою. Ці фактори негативно позначаються на самопочутті працюючого.

При організації робочого місця дуже важливим фактором є робоча поза працівника, тобто положення його корпусу, голови, рук і ніг по відношенню до знарядь праці. Якщо працівник працює сидячи, йому необхідно забезпечити правильну і зручну посадку, яка досягається пристроєм опори для спини, рук,

ніг, правильною конструкцією сидіння, яке сприяє рівномірному розподілу маси тіла.

Усі матеріальні елементи робочого столу ділять на предмети постійного, тимчасового користування з урахуванням цього розташовують у видатного порядку на місцях постійного зберігання, що це економить трудові рухи і сили працюючого.

Клавіатуру комп'ютера краще розташовувати на відстані 10-15 мм від краю столу, тоді зап'ястя рук будуть спиратися на стіл. Бажано придбати спеціальну підставку під зап'ястя, що, як стверджують медики, допоможе уникнути хвороби кистей.

Для ефективного використання маніпулятора типу «миша» застосовується спеціальний «килимок» – планшет. Килимок – планшет задовольняє основним критеріям: по-перше, добре тримається на поверхні столу, по-друге, матеріал верхньої поверхні планшета забезпечує вільне ковзання миші.

Введення текстової інформації з клавіатури полегшують підставки для документів. Вони можуть або кріпитися до монітора, або встановлюватися безпосередньо на столі. Багато підставки оснащені лінійками для виділення набираемой рядка.

Інструмент, обладнання та предмети праці знаходяться на відстані 560-750 мм на рівні рук працівника, оскільки їх використання не призводить до зайвих рухомим нахилам. Важливим елементом раціонального планування робочого місця є облік індивідуальних антропометричних психофізіологічних даних працюючого.

Робочі місця обладнані відповідними меблями та інвентарем, які відповідають найбільш комфортабельним умов роботи і вимог фізіології, психології та естетики.

Нижче представлений розрахунок повітрообміну в приміщенні КБ.

У прикладі необхідно визначити необхідний повітрообмін і його кратність для вентиляційної системи КБ, має довжина $a=10$ м, ширину $b=6$ м,

висоту $h=3,5$ м. В повітряне середовище КБ виділяється пил в кількості $W=1,5$ г/год (для даного виду пилю ПДК=4 мг/м³), концентрація пилю в робочій зоні $C_{р.з.}=2,8$ мг/м³, в припливному повітрі $C_{П}=0,3$ мг/м³, концентрація пилю в видаленому із КБ дорівнює концентрація її в робочій зоні ($C_{ух}=C_{р.з.}$), тобто пил рівномірно розподілена в повітрі. Кількість повітря, що забирається з робочої зони місцевими відсмоктувачами, одно $G_m=50$ м³/год.

Рішення даної задачі має наступний алгоритм:

1) Розрахунок обсягу КБ проводиться за формулою 4.1:

$$V=a \times b \times h, \text{ м}^3 \quad (4.1)$$

$$V=10 \times 6 \times 3,5=210 \text{ м}^3$$

2) Розрахунок необхідного повітрообміну проводиться за формулою 4.2:

$$G_{пр} = , \text{ м}^3/\text{ч} \quad (4.2)$$

$$50 + \frac{1500 - 50(2,8 - 0,3)}{2,8 - 0,3} = \frac{1375}{2,5} = 550$$

$$G_{пр} = \text{ м}^3/\text{ч}$$

3) Кратність повітрообміну в КБ розраховується за формулою 4.3:

$$K = , 1/\text{ч} \quad (4.3)$$

$$K = \frac{550}{210} = 2,6 \frac{1}{\text{ч}}$$

Тобто за 1 год, повітря в КБ повинно обмінюватися 2,6 рази.

4.4 Заходи щодо пожежної безпеки

У відповідності з ГСН В.2.5-13-98 "Пожарная автоматика домов и сооружений" найбільш частими причинами пожеж є наступні:

- порушення режимних вимог;

- самозаймання та самозажигання;
- розряди статичної і атмосферної електрики;
- несправність і неправильна експлуатація обладнання.

Джерелами займання можуть бути коротке замикання, перевантаження дротів, перегріті поверхні опору, несправність апаратури. Окислювачем, як правило, являється кисень. Для електронних пристроїв характерно часта поява джерел відкритого вогню при коротких замиканнях, пробоях і перевантаженнях. Однак потужність і тривалість дії цих джерел запалення порівняно малі, тому горіння, як правило, не розвивається.

Для відведення надмірної теплоти від ПК передбачені системи вентиляції і кондиціонування повітря.

Одним із важливих заходів щодо пожежної безпеки є установка в приміщенні КБ пожежної сигналізації. Вона дає можливість швидко погасити вогнище загоряння. В приміщенні встановлені променеві електричні системи сигналізації ЕПС типу ТОЛ 10/100 на 10-100 променів. В якості сповіщувачів застосовані теплові і димові сповіщувачі типу КД-1.

Приміщення КБ відноситься до категорії "Д" по вибухо - і пожежобезпеки відповідно до СНиП II-2-80 "Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений".

Будівля, в якій звичайно знаходиться КБ, являє собою споруду з несучими і загороджувальним конструкціями з природного або штучного каміння, бетону, залізобетону з використанням негорючих матеріалів. Враховуючи конструктивні характеристики споруди і категорію виробництва за вибухо - і пожежобезпеки, ступінь вогнестійкості має бути не нижче III.

У разі виникнення пожежі, евакуація працівників може проводитися через пожежні виходи.

Для уникнення пожеж на виробництві:

- розроблено комплексні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки;

- відповідно до нормативних актів з пожежної безпеки розроблені положення та інструкції, що діють у межах підприємства, установи та організації, здійснюється постійний контроль за їх виконанням;
- забезпечується дотримання протипожежних вимог, норм, правил, а також виконання вимог розпоряджень та постанов органів державного пожежного нагляду;
- утримуються в справному стані засоби протипожежного захисту, пожежна техніка, обладнання та інвентар, не допускається їх використання не за призначенням;
- видаються за вимогою державної пожежної охорони відомості та документи про стан пожежної безпеки об'єктів і виробленої ними продукції;
- проводяться заходи щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж і використання для цієї мети виробничої автоматики.

Усі працівники при прийомі на роботу і щорічно за місцем роботи проходять інструктажі з питань пожежної безпеки.

Приміщення обладнане наступними елементами пожежогасіння:

- Вогнегасник ОУ - 3;
- Вогнегасник ОП - 1 "Момент".

Така кількість вогнегасників відповідає вимогам ISO3941 - 77 "Пожары. Классификация", якими передбачено обов'язкову наявність двох вогнегасників на 100 м² площі для приміщень типу конструкторських бюро[7].

4. 5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

з) До захисних споруд цивільного захисту належать: сховища, протирадіаційні укриття (ПРУ), швидкобудуємі захисні споруди цивільного захисту.

Сховище - це герметична споруда, призначена для захисту людей, в якому протягом певного часу - 2-3 діб, створюються умови, що виключають

вплив небезпечних факторів, що виникли внаслідок надзвичайної ситуації, воєнних дій або терористичних актів.

Протирадіаційне укриття - це негерметична споруда, призначена для захисту людей, в якому створюються умови, що виключають вплив іонізуючого опромінення при радіоактивному забрудненні місцевості.

Швидкозмонтоване захисне спорудження цивільного захисту - це захисна споруда, що зводиться із спеціальних конструкції за короткий час 1-2 діб, при загрозі нападу і призначене для захисту людей від впливу засобів ураження, в особливий період.

Також для захисту людей від небезпек, що виникають внаслідок надзвичайних ситуацій в мирний час або дії засобів ураження в особливий період використовуються споруди подвійного призначення та найпростіші укриття.

Спорудження подвійного призначення - це наземне або підземне спорудження, яке може використовуватися за основним функціональним призначенням, а також для захисту населення в особливий період.

Найпростіше укриття - це фортифікаційна споруда, цокольне або підвальне приміщення будівлі, що знижує комбіноване ураження людей від небезпечних наслідків надзвичайних ситуацій, а також від дії засобів ураження в особливий період.

Укриттю підлягають:

1) в сховищах:

- працівники категорійних об'єктів, розташованих в зонах можливих сильних руйнувань населених пунктів і продовжують свою діяльність в місті в особливий період;

- персонал атомних електростанцій та інших радіаційно небезпечних об'єктів, а також працівники об'єктів забезпечують їх функціонування;

- працівники чергового персоналу об'єктів, що забезпечують життєдіяльність міст, категоризованих з цивільного захисту;

- працівники об'єктів, віднесених до категорії особливої важливості цивільного захисту та розташованих за межами зон можливих сильних руйнувань населених пунктів;

- хворі, медичний та обслуговуючий персонал закладів охорони здоров'я, які не підлягають евакуації або не можуть бути евакуйовані в безпечне місце;

2) в протирадіаційних укриттях:

- працівники об'єктів, віднесених до першої та другої категорій цивільного захисту та розташованих за межами зон можливих сильних руйнувань населених пунктів, які продовжують свою діяльність у воєнний час;

- населення міст, некатегорованих з цивільного захисту, а також населення, евакуйоване з категорійних міст і зон можливих сильних руйнувань;

- працівники об'єктів, розташованих в зонах можливих руйнувань, небезпечного і сильного радіоактивного забруднення навколо атомних електростанцій;

- хворі, медичний та обслуговуючий персонал закладів охорони здоров'я, розташованих за межами зон можливих сильних руйнувань, категоровані з цивільного захисту міст і об'єктів, а також закладів охорони здоров'я, які продовжують свою діяльність у воєнний час;

3) в швидкокомтованих захисних спорудах цивільного захисту, найпростіших укриттях і спорудах подвійного призначення - ховається населення категорійних міст, яке не підлягає евакуації в безпечне місце або в інші населені пункти.

Для вирішення питань укриття населення в захисних спорудах створюється фонд захисних споруд. Цей фонд створюється завчасно Державною службою України з надзвичайних ситуацій, місцевими державними адміністраціями, органами місцевого самоврядування та об'єктами господарської діяльності.

Порядок створення та утримання фонду захисних споруд, а також його облік визначається Кабінетом Міністрів України.

Проектування, будівництво, обладнання та розміщення захисних споруд та об'єктів подвійного призначення здійснюються за нормами, розробленими відповідно до Закону України «Про будівельні норми»[6].

Вимоги до змісту і експлуатації захисних споруд визначаються Державною службою України з надзвичайних ситуацій.

Зміст захисних споруд здійснюється об'єктами господарської діяльності, на балансі яких вони знаходяться, за рахунок власних коштів.

Якщо одна захисна споруда використовується декількома об'єктами господарської діяльності, в цьому випадку в його змісті беруть участь всі сторони, згідно укладених між ними договорів.

З моменту виключення захисної споруди з фонду захисних споруд воно втрачає статус захисної споруди цивільного захисту.

Захисні споруди цивільного захисту, що знаходяться в державній та комунальній власності, не підлягають приватизації або відчуженню.

Захисні споруди цивільного захисту можуть використовуватися в мирний час для господарських, культурних та побутових потреб у порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України.

Тому вони можуть передаватися в оренду, із збереженням їх цільового призначення, за винятком, захисних споруд, що знаходяться в постійній готовності, а саме:

- в яких розташовані пункти управління;
- призначених для укриття працівників об'єктів, що мають виробництво підвищеної небезпеки;
- розташованих в зонах ймовірного радіоактивного зараження атомних електростанцій і призначених для укриття населення при радіаційних аваріях.

Особливості оренди захисних споруд визначаються типовим договором оренди, який затверджується Кабінетом Міністрів України.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛЬОТУ КВАДРОКОПТЕРА

Організація виробництва – це раціональне поєднання в просторі і часі засобів виробництва і робочої сили з метою досягнення у визначені строки випуску готової продукції з найменшими витратами.

Відновлення продукції (виконання робіт, надання послуг) здійснюється в процесі взаємодії праці людини та певних засобів виробництва. Забезпечення певних темпів розвитку і підвищення ефективності виробництва можливе за умови раціональної організації виробничих процесів у часі, забезпечення процесу виробництва необхідними ресурсами, належного рівня механізації та автоматизації виробництва, контролю якості виробів і процесів. Виконання цих умов дозволить з одного боку, сприяють постійному підтримуванню належного технічного рівня підприємства, а з іншого дасть змогу збільшити обсяг виробництва продукції.

5.2 Обґрунтування технічної частини дипломного проекту

Проблема даного дослідження носить актуальний характер в сучасних умовах. Про це свідчить активізація активності досліджень і нових розробок у даному напрямку.

Тема "Розробка системи стабілізації польоту квадрокоптера" вивчається на стику відразу кількох взаємозалежних дисциплін, таких як програмування та радіоелектроніка. Для сучасного стану науки характерний перехід до глобального розгляду проблем даної тематики.

Висока значимість і недостатня практична розробленість проблеми визначають безсумнівну новизну даного дослідження, а, отже, і підвищують ступінь його значущості.

Подальше увагу до питання необхідно в цілях глибшого і обґрунтованого дозволу приватних актуальних проблем тематики дослідження.

Актуальність справжньої роботи обумовлена, з одного боку, досить великим інтересом до теми в сучасній науці з боку державних і приватних підприємств радіоелектронного напрямку, з іншого боку, її недостатньою розробленістю. Розгляд питань пов'язаних з даною тематикою носить як теоретичну, так і практичну значимість.

5.3 Побудова мережного графіка на підставі проведених робіт

5.3.1 Складання переліку етапів і визначення тривалості роботи

Планування проведення робіт за допомогою методу сітьового планування та управління (СПУ), істотно знижує терміни проведення.

У результаті цього етапу, визначаються тривалість і трудомісткість робіт.

Система СПУ включає:

- складання переліку етапів і визначення тривалості виконання робіт;
- побудова мережного графіка;
- розрахунок основних параметрів сіткового графіка.

Весь комплекс робіт можна розділити на типові етапи. По кожному етапу зазначаються виконавці та трудомісткість або тривалість виконання робіт. У ряді випадків дуже важко встановити загальну трудомісткість проведеної роботи. Це пов'язано з елементами невизначеності в процесі виконання більшості робіт. Їх трудомісткість і тривалість залежить від величезної кількості факторів, передбачити які неможливо. У таких випадках використовують дві або три імовірнісні оцінки, які даються відповідальними

виконавцями по кожному етапу робіт. Ці оцінки зазвичай виражаються в днях і є вихідними для розрахунку очікуваного часу виконання етапу робіт з формули 5.1:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} \quad (5.1)$$

де $t_{ож}$ - очікувана оптимальна оцінка часу виконання роботи, днів;

t_{min} - мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

t_{max} - максимальні витрати часу на виконання роботи за несприятливих умов, днів.

Ступінь правильності визначення перевіряють розрахунком дисперсії (різниці між мінімальними і максимальними оцінками часу виконання робіт). Дисперсія (σ) являє собою середнє значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається за формулою:

$$\sigma^2(t) = \left(\frac{t_{max} - t_{min}}{5} \right)^2 \quad (5.2)$$

Якщо $\sigma^2(t) \leq 1$, то ступінь невизначеності оцінки часу робіт по даному етапу мала. Розраховані згідно (5.1) - (5.2) характеристики робіт наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Тривалість науково-дослідної роботи.

№	Етапи науково-дослідної роботи	Тривалість днів			Дисперсія	Виконавці		Тривалість днів
		t_{min}	t_{max}	$t_{оч}$		Спеціальність	Кіл. -ть чол.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1.	Уточнення проектного завдання	3	4	3	0,04	Спеціаліст з електроніки	1	3
2.	Аналіз ТЗ та постановка задачі	3	4	3	0,04	Спеціаліст з електроніки	1	3

Продовження табл.5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.	Підбір і вивчення літератури	8	10	9	0,16	Спеціаліст з електроніки	1	9
4.	Вибір і придбання всіх необхідних елементів для розробки фізичної моделі	5	7	6	0,16	Спеціаліст з електроніки	1	6
5.	Вибір способів програмування	4	5	4	0,04	Спеціаліст з електроніки	1	4
6.	Складання моделі	6	7	6	0,04	Спеціаліст з електроніки	1	6
7.	Калібрування моторів і PID регуляторів	7	9	8	0,16	Спеціаліст з електроніки	1	8
8.	Створення програмного забезпечення для Arduino	12	14	13	0,16	Спеціаліст з електроніки	1	13

9.	Узагальнення результатів	8	10	9	0,16	Спеціаліст з електроніки	1	9
----	-----------------------------	---	----	---	------	-----------------------------	---	---

Продовження табл.5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.	Складання звіту	6	8	7	0,16	Спеціаліст з електроніки	1	7
11.	Аналіз економічної ефективності	4	6	5	0,16	Спеціаліст з електроніки	1	5
12	Оформлення графічної частини	5	7	6	0,16	Спеціаліст з електроніки	1	6
13.	Нормоконтроль	3	5	4	0,16	Спеціаліст з електроніки	1	4
14.	Виправлення помилки	2	3	2	0,04	Спеціаліст з електроніки	1	2
15.	Обговорення звіту	2	3	2	0,04	Спеціаліст з електроніки	1	2
	Всього	78	102	87	—		—	87

5.1.2 Побудова мережного графіка

Використовуючи дані табл.5.1, необхідно побудувати календарний графік виконання роботи. Він може бути мережовим або лінійним залежно від

можливості одночасного виконання суміжних етапів робіт. Мережевий графік представлений на рис.5.1.

Сітковий графік являє собою інформаційно-динамічну модель, в якій відображаються взаємозв'язки і результати всіх робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети дослідження.

При побудові мережевого графіка складаємо перелік робіт, представлений у табл.5.2.

Таблиця 5.2 - Перелік робіт мережевого графіка.

№	Код роботи	Зміст роботи	Тривалість роботи, днів
1	0 – 1	Уточнення проектного завдання	3
2	1 – 2	Аналіз ТЗ та постановка задачі	3
3	2 – 3	Підбір і вивчення літератури	9
4	3 – 4	Вибір і придбання всіх необхідних елементів для розробки фізичної моделі	6
5	4 – 5	Вибір способів програмування	4
6	5 – 6	Складання моделі	6
7	6 – 7	Калібрування моторів	8
8	7 – 8	Створення програмного забезпечення для Arduino	13
9	8 – 9	Узагальнення результатів	9
10	8 – 10	Складання звіту	7
11	9 – 11	Аналіз економічної ефективності	9

12	10 – 11	Оформлення графічної частини	6
13	11 – 12	Нормоконтроль	4
14	12 – 13	Виправлення помилок	2

Продовження табл.5.2

15	13 – 14	Обговорення звіту	2
Всього	87		

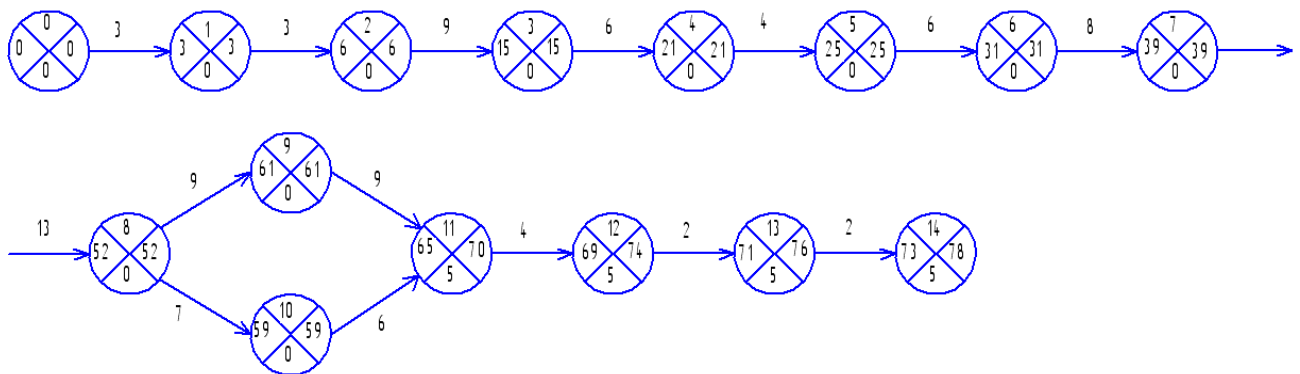


Рисунок 5.1 – Мережевий графік

Після складання мережевого графіка визначаємо його параметри. Результати розрахунків зведені в таблицях 5.3, 5.4.

Таблиця 5.3 - Параметри шляхів.

№ шляху	Номер подій, через які проходить шлях	Тривалість робіт, через які проходить шлях	Довжина шляху	Резерв часу	K_{HLi}
---------	---------------------------------------	--	---------------	-------------	-----------

1	0-1-2-3-4-5-6-7 8-9-11 -12-13-14	3-3-8-5-4-6-8-13 -8-7-4-2-2	78 (кр.)	0	1
2	0-1-2-3-4-5-6-7-8-10 -11-12-13-14	3-3-8-5-4-6-8-13 -5-5-4-2-2	73	5	0,72

Таблиця 5.4 – Параметри работ.

Код роботи $i-j$	t_{ij}	t_i^p	t_i^n	t_j^p	t_j^n	$R_{ij}^{полн}$	$R_{ij}^{св}$
0 – 1	3	0	0	3	3	0	0
1 – 2	3	3	3	6	6	0	0
2 – 3	9	6	6	15	15	0	0
3 – 4	6	15	15	21	21	0	0
4 – 5	4	21	21	25	25	0	0
5 – 6	6	25	25	31	31	0	0
6 – 7	8	31	31	39	39	0	0
7 – 8	13	39	39	52	52	0	0
8 – 9	9	52	52	61	61	0	0
8 – 10	7	52	52	59	59	0	0
9 – 11	9	61	61	70	70	0	0
10 – 11	5	59	59	65	65	5	5
11 – 12	4	65	70	69	74	0	5

12 – 13	2	69	74	71	76	0	5
13 – 14	2	71	76	73	78	0	5

У таблиці використані позначення:

i – номер події, яка передує роботі;

j – номер події, яка завершує роботу;

t_{ij} – тривалість виконання роботи;

t_{ip} – ранній термін завершення події i ;

t_{in} – пізній термін завершення події i ;

t_{jp} – ранній термін завершення події j ;

t_{jn} – пізній термін завершення події j ;

$R_{ijполн}$ – повний резерв часу події;

$R_{ijсв}$ – вільний резерв часу події;

K_{HLi} – коефіцієнт напруженості події.

Коефіцієнт напруженості шляху визначається за

$$\text{формулою: } K_{HLi} = \frac{L_i - L_i^{кр}}{L_{кр} - L_i^{кр}} \quad (5.3)$$

где L_i – довжина шляху, який розраховується;

$L_{кр}$ – довжина критичного шляху;

$L_i^{кр}$ – тривалість робіт, які є спільними з критичним шляхом.

Коефіцієнт напруженості першого шляху дорівнює:

$$K_{HL1} = \frac{73 - 60}{78 - 60} = 0,72$$

5.3 Розрахунок кошторису витрат на реалізацію проекту

До складу витрат на реалізацію проекту враховується вартість всіх ресурсів, необхідних для проведення комплексу робіт.

Але в даному випадку розрахунок багатьох статей ускладнений через невизначеність, яка виражається в тому, що заздалегідь невідомо необхідну кількість деяких матеріалів, деталей, послуг, а також величини витрат. Тому використовуємо методику збільшених розрахунків, яка передбачає первинний розрахунок основної заробітної плати, а після цього - процентних частин інших статей. Статті, витрати по яких можуть бути розраховані більш точно, розраховуються за звичайною методикою.

З метою визначення витрат на реалізацію проекту слід скласти кошторис витрат (табл.5.5).

Таблиця 4.5 – Кошторис витрат на розробку проекту.

Статті витрат	Сума	
	грн.	частина, %
Матеріали, покупні вироби і напівфабрикати	255	0,05
Основна і додаткова заробітна плата виробничого персоналу	17822,75	40,05
Єдиний соціальний внесок	3920,92	8,81
Витрати на спеціальне обладнання	4670,16	10,49
Накладні витрати	17822,75	40,05
Усього витрат на реалізацію проекту	44491,58	100

5.3.1 Розрахунок вартості матеріалів

До статті витрат на матеріали включаються вартість основних і допоміжних матеріалів, необхідних для розробки проекту. За період проведення науково-дослідних робіт співробітниками будуть використані наступні матеріали (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 - Використані матеріали.

Найменування	Вартість, грн.	Кількість	Витрати, грн.
Папір, 1 пачка 500 аркушів	95,00	1	95,00
Чорнило для заправки картриджів HP PSC1410 Black, 100 мл	160,00	1	160,00
Всього	-	-	255,00

5.3.2 Визначення витрат на спеціальне обладнання

У цій статті враховуються витрати на спеціальне обладнання, необхідне для реалізації проекту (табл.5.7).

Балансова вартість обчислювальної техніки становить 5000 грн. за один комп'ютер. Для проведення науково-дослідної роботи використовується 2 комп'ютера.

Обладнання потрібне для виконання робіт тривалістю 87 дня (90% від загального обсягу робіт). Помноживши на тривалість робочого дня (8 год) отримаємо машинний час $87 \cdot 8 = 696$ г.

Визначення витрат на спеціальне обладнання:

$$A = \frac{\Phi_{\text{б.ПЭВМ}} \cdot N \cdot H_a}{100\%}, \quad (5.4)$$

де: $\Phi_{\text{б.ПЭВМ}}$ - балансова вартість обчислювальної техніки, грн.;

N - кількість ЕОМ ;

H_a - норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення обчислювальної техніки, % ($H_a = 50\%$).

Підставивши у формулу значення балансової вартості використовуваного устаткування (Intel Celeron J1800 (2.41 ГГц) / RAM 4 ГБ / HDD 200 ГБ / Intel HD Graphics / без ОД / LAN / без ОС) = 5750 (грн):

$$A = \frac{5750 \cdot 2 \cdot 50}{100} = 5750$$

Витрати на електроенергію, враховуючи що ЕОМ працює 8 годин на день 87 день у році, споживаючи 50 Вт потужності при вартості 1 кВт - години електроенергії 2,16 грн.:

$$C_{\text{элэн}} = 87 \cdot 8 \cdot 0,15 \cdot 2,16 = 225,5 \text{ (грн.)}$$

Оплату праці спеціаліста з ремонту і експлуатації ЕОМ, виходячи з того, що його місячна заробітна плата становить 4200 грн., доплати 20% та єдиний соціальний внесок становлять 22,0%, а роботі над даним проектом він приділяє 5% свого робочого часу:

$$C_{\text{зп}} = 4200 \cdot 1,2 \cdot 1,22 \cdot 12 \cdot 0,05 = 3689,28 \text{ (грн.)}$$

Таким чином, сума витрат на експлуатацію обладнання становить:

$$225,5 + 3689,28 = 3914,78 \text{ (грн.)}$$

Витрати на поточний ремонт обладнання приймаються рівними 3% від балансової вартості обладнання, що становить $11500 \cdot 0,03 = 345$ (грн.)

Інші витрати приймаються рівними 4% від всіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію устаткування, тобто $0,04 \cdot (5750 + 225,5 + 3689,28 + 2914,78 + 345) = 2061,51$ (грн.).

Таблиця 5.7 – Кошторис витрат на утримання і експлуатацію обладнання.

Стаття видатків	Сума, грн.
Амортизація обладнання	5750
Експлуатація устаткування (крім витрат на поточний ремонт)	3914,78
Поточний ремонт обладнання	345
Інші витрати	2061,51
Разом	12071,29

Розділивши підсумкове значення таблиці 4.7 на фонд часу 1800 ч. отримаємо експлуатаційні витрати на 1 годину машинного часу:

$$\text{Рексп} = 12071,29 / 1800 = 6,71 \text{ (грн./г.)}$$

А за весь час розробки :

$$\text{Смч} = 696 \cdot 6,71 = 4670,16 \text{ (грн.)}$$

5.3.3 Розрахунок заробітної плати

Витрати на основну заробітну плату складаються з планового фонду заробітної плати всіх категорій працівників, зайнятих в розробці проектного пристрою.

Розрахунок заробітної плати ведеться на основі даних про трудомісткості. Результати розрахунків зведені в табл. 5.8.

Додаткову заробітну плату приймаємо рівною 10% від основної заробітної плати. Розрахунок основної та додаткової заробітної плати наведено в табл.5.9.

Таблиця 5.8 – Розрахунок основної заробітної плати.

Посада виконавця	Кіл-ть людей	Місячний оклад, грн	Середньоденна зарплата, грн.	Кількість робочих	Сума зарплати,
------------------	--------------	---------------------	------------------------------	-------------------	----------------

				днів	грн.
Спеціаліст з електроніки	1	4500	204,5	52	10634
Спеціаліст з електроніки	1	3500	159,1	35	5568,5
Всього	2	—	—	87	16202,5

Таблиця 5.9 – Основна та додаткова заробітна плата

Спеціальність виконавця	Додаткова заробітна плата, грн	Сума основної та додаткової заробітної плати, грн
Спеціаліст з електроніки	1063,4	11697,4
Спеціаліст з електроніки	556,85	8432,3
Всього	1619,89	17822,75

5.3.4 Визначення єдиного соціального внеску

Єдиний соціальний внесок визначається у розмірі 37 % від суми основної та додаткової заробітних плат.

Таким чином, відрахування на соціальне страхування становить:

$$ОТЧ = (ЗП_{осн} + ЗП_{доп}) \cdot 0,37 \quad (5.5)$$

где $ЗП_{осн}$ – основна заробітна плата, грн.;

$ЗП_{доп}$ – додаткова заробітна плата, грн.

$$ОТЧ = (16202,5 + 1619,89) \cdot 0,37 = 3920,92 \text{ грн.}$$

5.3.5 Накладні витрати

До накладних витрат відносять витрати на загальне управління та загальногосподарські потреби (на заробітну плату апарату управління, канцелярські витрати та ін), на утримання і експлуатацію будівель і споруд. Накладні витрати включаються у вартість проведення роботи непрямым шляхом - у відсотках від основної заробітної плати співробітників.

Накладні витрати складають 60-100% від основної заробітної плати співробітників, що в нашому випадку становить:

$$17822,75 \cdot 1,0 = 17822,75 \text{ грн}$$

5.4 Бальна оцінка економічної ефективності науково - дослідної роботи

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно ви-значити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступ-них показників:

- важливості дослідження для народного господарства;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки;
- пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і т.п.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отрима-них результатів даного дослідження з результатами відомих аналогіч-них досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє прове-дення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень по-ставленого завдання: отриманий результат відповідає планованому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР по формулі[8]:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}} , \quad (5.6)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

J^n – важливість роботи;

R – результативність роботи;

T – технічна складність виконання НДР;

$B_{\text{НДР}}$ – витрати на проведення НДР, років;

n – показник використання результатів НДР:

$n=0$ – результати НДР не використовуються;

$n=1$ – результати НДР використовуються частково;

$n=2$ – результати НДР використовуються в дослідно-конструкторських роботах (ДКР);

$n=3$ – результати НДР можуть бути використані без проведення ДКР.

При значенні $K_{\text{НДР}} \geq 1$ дослідницька робота вважається ефективною.

$$K_{\text{НДР}} = \frac{2^2 \cdot 1 \cdot 2}{17,822 \cdot 0,24} = 1,87 \quad (5.7)$$

Термін окупованості $T_{ок}$ проекту розраховується за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{K_{НДР}}, \quad (5.8)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{1,87} = 0,5$$

5.5 Висновки

Дана проектна робота з урахуванням реалізації програмного забезпечення не має повноцінних аналогів у нашій країні.

В даному розділі був проведений аналіз і обґрунтування економічної ефективності науково-дослідної роботи. Розраховано, що для проведення дослідження необхідно близько 87 днів. При цьому сумарні витрати на дослідження становлять 58379,34 грн., з них:

- заробітна плата – 17822,75 грн., що становить 40,05% від загальної кількості витрат;
- накладні витрати – 17822,75 (40,05%);
- спеціальне обладнання для реалізації проекту – 4670,16 грн. (10,49%);
- відрахування на соціальне страхування – 3920,92 (8,81%);
- витратні матеріали, куповані вироби і напівфабрикати – 255 грн. (0,05%).

Обґрунтованість ефективності дослідження підтверджується розрахованим коефіцієнтом економічної ефективності, який становить – 1,87.

Під час проведення розрахунків були розраховані витрати на реалізацію проекту. Розрахунок витрат і економічної ефективності показав, що розроблений проект окупиться через 0,5 року.

ВИСНОВКИ

Темою дипломної роботи була розробка системи стабілізації польоту квадрокоптера.

Розроблений варіант квадрокоптера базується на такій конструкції: рами X-типу, моторів A2212 /13T на 1000 kV, різноспрямованих двухлопастних пропелерів, ESC регуляторів 30 A DC :5.5V-12.6VBEC 5/2A, літій-полімерної батареї (LiPo).

В ході дослідження, було проаналізовано середовище програмування Arduino Software (IDE). Та апаратна платформа Arduino Uno. Квадрокоптер має мікросхему MPU-6050, яка містить модуль 3-х осьового гіроскопа і акселерометра GY-521. Використовувалась бібліотека I2Cdevlib.

Розроблена та реалізована ефективна система стабілізації польоту квадрокоптера.

Данна система стабілізації польоту квадрокоптера, являється ефективною. Вона користуватиметься попитом. З економічних розрахунків випливає, що проект окуповується досить швидко. При розробці системи було проаналізовано, що критично шкідливих факторів та загроз для здоров'я людини не має.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Яценюк, В.** Твой первый квадрокоптер: теория и практика [Текст] / В. Яценюк. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2015. – 256 с.
2. **Килби, Т.** Дроны с нуля. Собери свой первый квадрокоптер [Текст] / Т. Килби, Б. Килби; пер. В. Яценков. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2016. – 192 с.
3. **Иго, Т.** Arduino, датчики и сети для связи устройств / Т. Иго; пер. С. Таранушенко. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2015. – 540 с.
4. **Карвинен, Т.** Делаем сенсоры. Проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi [Текст] / Т. Карвинен, К. Карвинен, В. Валтокари; пер. И. Василенко. - Москва: ООО "И.Д. Вильямс". – 445 с.
5. Методичні вказівки до дипломного проектування розділу «Охорона праці» [Текст] / Укл.: Г.І. Дуднік, В.П. Порохненко, А.А. Потуремець, А.О. Писарський, О.В. Коваленко, О.М. Савчук. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2000. – 60 с.
6. **Коберник, В. Ф.** Охрана труда [Текст] / В.Ф. Коберник; – К.: Вища школа, 1990. – 286 с.
7. Депутат О.П. та ін. Цивільна оборона. Підручник [Текст] / О.П.Депутат, І.В.Коваленко, І.С.Мужик; За ред. полковника П. І. Кашина. - Львів: ІП «Василькевич К.І.», 2005. - 340 с.
8. Методичні вказівки до економічного обґрунтування дипломних проектів для студентів спеціальностей 7.080203 «Системний аналіз та управління» [Текст] / Укл.: Р.Г Бобровникова, Т.М.Тіховська, О.Б. Борисенко, Н.Л. Онуфрієнко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 20 с.
9. Довідкова інформація про застосування квадрокоптерів [Електронний ресурс]. – Режим доступу :<http://startapy.ru/применение-дронов-квадрокоптеров>
10. Довідкова інформація Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.arduino.cc>
11. Довідкова інформація базові поняття [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://habrahabr.ru/post/227425>

12. Довідкова інформація підключення модуля Gy-521 [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://lesson.iarduino.ru/page/urok-11-podklyuchenie-giroskopa-gy-521-mpu-6050-k-arduino>

Код системи стабілізації польоту квадрокоптера в середовищі програмування Arduino IDE

```
#include <Servo.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
// Пінни моторів:
```

```
Servo esc;
```

```
Servo esc_1 ;
```

```
int escPin = 5;
```

```
int escPin_1 = 6 ;
```

```
int minPulseRate = 1000;
```

```
int maxPulseRate = 2000;
```

```
int throttleChangeDelay = 10;
```

```
// Пінни MPU6050:
```

```
const int MPU_addr=0x68;
```

```
int16_t axis_X,axis_Y,axis_Z;
```

```
int minVal=265;
```

```
int maxVal=402;
```

```
double x;
```

```
double y;
```

```
double z;
```

```
// Контроль швидкості:
```

```
// Стартова швидкість мотора чорного пропелера
```

```
int start_speed_1 = 55 ;
```

```
// Стартова швидкість мотора червоного пропелера
```

```
int start_speed_2 = 60 ;
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    Serial.setTimeout(500);
```

```
    // Підключення серво для правильного піна та встановлення діапазону  
    імпульсу
```

```
esc.attach(escPin, minPulseRate, maxPulseRate);

esc_1.attach(escPin_1, minPulseRate, maxPulseRate);


// Задання мінімального значення (більшість ESC вимагають коректного
запуску)

esc.write(100);

esc_1.write(100);


// Установка мікросхеми MPU:


Wire.begin();

Wire.beginTransmission(MPU_addr);

Wire.write(0x6B);

Wire.write(0);

Wire.endTransmission(true);


}


void loop() {
```

// MPU зчитує та виводить:

```
Wire.beginTransmission(MPU_addr);

Wire.write(0x3B);

Wire.endTransmission(false);

Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true);

axis_X=Wire.read()<<8|Wire.read();

axis_Y=Wire.read()<<8|Wire.read();

axis_Z=Wire.read()<<8|Wire.read();

int xAng = map(axis_X,minVal,maxVal,-90,90);

int yAng = map(axis_Y,minVal,maxVal,-90,90);

int zAng = map(axis_Z,minVal,maxVal,-90,90);

x= RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -zAng)+PI);

y= RAD_TO_DEG * (atan2(-xAng, -zAng)+PI);

z= RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -xAng)+PI);
```

```

Serial.print("Кут нахилу по осі X = ");

Serial.print(x-180);

Serial.println((char)176);

Serial.print("Кут нахилу по осі Y = ");

Serial.print(y-180);

Serial.println((char)176);

Serial.print("Кут нахилу по осі Z = ");

Serial.print(z-360);

Serial.println((char)176);

Serial.println("-----");

delay(30);

```

```
// Зчитування нового значення загального газу (throttle)
```

```
// Перший мотор (червоний)
```

```
int normal_throttle = normalizeThrottle( start_speed_1 + (x-180) );
```

```
int throttle = normal_throttle ;
```

```
// Друк
```

```
Serial.print("Встановлення throttle: ");
```

```
Serial.println(throttle);
```

```
// Заміна throttle на нове значення
```

```
changeThrottle(throttle);
```

```
// Другий мотор (чорний)
```

```
int normal_throttle_1 = normalizeThrottle( start_speed_1 - (x-180) );
```

```
int throttle_1 = normal_throttle_1 ;
```

```
// Друк
```

```
Serial.print("Встановлення throttle 1: ");
```

```
Serial.println(throttle_1);
```

```
// Заміна throttle на нове значення
```

```
changeThrottle_1(throttle_1);
```

```
}
```

```
/// Перший мотор червоний:
```

```
void changeThrottle(int throttle) {
```

```
    // Зчитування поточного значення throttle
```

```
    int currentThrottle = readThrottle();
```

```
    // Вгору/ вниз?
```

```
    int step = 1;
```

```
    if( throttle < currentThrottle )
```

```
        step = -1;
```

```
    // Повільно рухатися до нового значення throttle
```

```
    while( currentThrottle != throttle ) {
```

```
        esc.write(currentThrottle + step);
```

```
        currentThrottle = readThrottle();
```

```
        delay(throttleChangeDelay);
```

```
}
```

```
}
```

```
int readThrottle() {
```

```
int throttle = esc.read();
```

```
Serial.print("Поточний throttle: ");
```

```
Serial.println(throttle);
```

```
return throttle;
```

```
}
```

```
/// Другий мотор чорний:
```

```
void changeThrottle_1(int throttle_1) {
```

```
// Зчитування поточного значення дроселя
```

```
int currentThrottle_1 = readThrottle_1();
```

```

// Вгору/ вниз?

int step = 1;

if( throttle_1 < currentThrottle_1 )

    step = -1;


// Повільно рухатися до нового значення throttle

while( currentThrottle_1 != throttle_1 ) {

    esc_1.write(currentThrottle_1 + step);

    currentThrottle_1 = readThrottle_1();

    delay(throttleChangeDelay);

}

}


int readThrottle_1() {


int throttle_1 = esc_1.read();


Serial.print("Поточний throttle: ");

Serial.println(throttle_1);

```

```
return throttle_1;
```

```
}
```

```
// Забезпечити значення throttle в межах 0 - 180
```

```
// Якщо значення throttle менше 0, то повертає 0;
```

```
// Якщо значення throttle більше 180, то повертає 180.
```

```
int normalizeThrottle(int value)
```

```
{
```

```
    if( value < 0 )
```

```
        return 0;
```

```
    if( value > 180 )
```

```
        return 180;
```

```
    return value;
```

```
}
```