

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Охорона (назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Апаратне та програмне забезпечення

отримання та опрацювання телеметричних даних

про параметри руху маневруючого пристрою

Виконав: студент 6 курсу групи СІмз-61

спеціальності

123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

		Рихлевич С.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Баран І.О.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Тиш Є.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали))
Завідувач кафедри		Осухівська Г.М.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		Цуприк Г.Б.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль

2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

17 листопада 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

123 Комп'ютерна інженерія

студенту

Рихлевичу Сергію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Апаратне та програмне забезпечення

отримання та опрацювання телеметричних даних

про параметри руху маневруючого пристрою

Керівник роботи

Баран Ігор Олегович., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «14» листопада 2025 року № 4/7-988

2. Термін подання студентом роботи 16.12.2025

3. Вихідні дані до роботи

наукові літературні джерела

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Аналіз предметної області. 2 Апаратне забезпечення.

3. Розробка та тестування програмного забезпечення системи.

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Тема, мета, задачі, об'єкт, предмет, новизна дослідження. 2. Актуальність дослідження.

3. Структурна схема КАС Перелік апаратури.

4. Структурна схема системи Макет КАС із системою.

5. Часова діаграма функціонування МК блоку збору даних схема його роботи

6. Блок-схема алгоритму опитування аналогових та дискретних каналів.

7. Результати експериментів.

8. Висновки. Результати проведеного дослідження.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Осухівська Г.М., доцент</i>	<i>04.12.2025</i>	
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>			

7. Дата видачі завдання 17.11.2024.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Аналіз існуючих методів та засобів розв'язання науково-технічних проблем, що відповідають тематиці кваліфікаційної роботи.</i>	<i>17.11-21.11.25</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Обґрунтування актуальності дослідження</i>	<i>22.11-24.11.25</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Аналіз предмету дослідження та предметної області</i>	<i>25.11-29.11.25</i>	<i>Виконано</i>
4.	<i>Проведення дослідження методів та засобів аналітичного опрацювання даних</i>	<i>30.11-04.12.25</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Оформлення розділу «Аналіз предметної області»</i>	<i>05.12-07.12.26</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Оформлення розділу «Проектна частина»</i>	<i>08.12-09.12.25</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Оформлення розділу «Розробка та тестування програмного забезпечення системи»</i>	<i>10.12-11.12.25</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Оформлення розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	<i>04.12-10.12.25</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>10.12-14.12.25</i>	
10.	<i>Попередній захист роботи</i>	<i>16.12.25</i>	<i>Виконано</i>
11.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>22.12.25</i>	

Студент

(підпис)

Рихлевич С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Рихлевич С. В. Апаратне та програмне забезпечення отримання та опрацювання телеметричних даних про параметри руху маневруючого пристрою: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія / наук.кер. І.О. Баран. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: давач, мікроконтролер, текстовий файл, телеметрія, флеш-накопичувач, FatFs, SPI

В кваліфікаційній роботі докладно описаний керований артилерійський снаряд, його будова і специфіку управління. Виконано вибір основних апаратних елементів розроблюваної телеметричної системи керування снарядом (давачі та мікроконтролер). Розглянуто основні похибки чутливих елементів, які є найбільш вагомими у реальних задачах телеметрії.

Наведено докладний опис давачів (аналогових та цифрових), які входять до складу системи збору телеметричної інформації.. Представлено описи мікроконтролера, інтерфейсу та файлової системи. Розроблено структурну схему системи, продемонстровано під'єднання давачів. Проведена оцінка необхідної ємності microSD-накопичувача даних та пропускну здатності існуючого каналу запису даних.

Представлено особливості процесу розробки програмного забезпечення та проведення експериментальних досліджень створеної системи. Сформульовані функції створеного програмного забезпечення мікроконтролера блоку збору телеметричної інформації, наведені основні його задачі, розроблено алгоритми функціонування. При розробці використано пакети прикладних програм. Проведено тестування на симуляційному макеті та налагодження вузлів із застосуванням спеціальної плати-налагоджувача. Оцінено вплив дрейфу та випадкових складових у вихідному сигналі давача.

ANNOTATION

Rykhlevych S. Hardware and software for obtaining and processing telemetric data of the maneuvering device's movement parameters. Master's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering / supervisor I.O. Baran. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: sensor, microcontroller, text file, telemetry, flash drive, FatFs, SPI

The Thesis describes in detail the guided artillery projectile, its structure and control specifics. The main hardware elements of the developed telemetric projectile control system (sensors and microcontroller) are selected. The main errors of the sensitive elements, which are the most significant in real telemetry tasks, are considered.

A detailed description of the sensors (analog and digital) that are part of the telemetric information collection system is given. Descriptions of the microcontroller, interface and file system are presented. A structural diagram of the system is developed, the connection of the sensors is demonstrated. The required capacity of the microSD data drive and the bandwidth of the existing data recording channel are assessed.

The features of the software development process and experimental research of the created system are presented. The functions of the created software of the microcontroller of the telemetric information collection unit are formulated, its main tasks are given, and operating algorithms are developed. Application program packages were used in the development. Testing was carried out on a simulation model and debugging of the nodes using a special debugger board. The influence of drift and random components in the sensor output signal was assessed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	12
1.1. Опис керованого снаряду	12
1.1.1. Будова та призначення елементів управління артилерійського снаряда	12
1.1.2. Організація випробувань	14
1.2 Аналіз технічного завдання.....	16
1.3 Модель похибки та її облік на борту.....	17
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	24
2.1. Опис давачів системи	24
2.1.1. Вимірювач лінійних прискорень ADXL322	24
2.1.2. Давач кутової швидкості ADXRS 652.....	25
2.1.3. Давач кутової швидкості ADXRS649.....	27
2.1.4. Вимірювач лінійних прискорень MMA6231	28
2.1.5. Давач відокремлення K25.1811.000.....	29
2.1.6. Давач розкриття вузла K25.1833.000.....	30
2.2. Опис мікроконтролера	31
2.3. Опис інтерфейсу SPI	33
2.4. Опис файлової системи FAT.....	34
2.5. Структурна схема системи збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу	37
2.6. Під'єднання давачів	38
2.7. Оцінка необхідної ємності накопичувача даних та пропускної спроможності каналу запису даних.....	39
Висновки до розділу 2	42

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ.	43
3.1. Розробка вбудованого ПЗ мікроконтролера.....	43
3.1.1. Задачі і функції ПЗ мікроконтролера блоку збору телеметричної інформації.....	43
3.1.2. Алгоритм опитування миттєвих значень аналогових та дискретних давачів.....	46
3.1.3. Алгоритм формування текстового подання оцифрованих даних	47
3.1.4. Алгоритм запису даних на незалежний носій даних (SD- карту, USB - накопичувач).....	49
3.2. Використання спеціалізованого ПЗ при розробці системи	51
3.3. Проведення експериментальних досліджень	53
Висновки до розділу 3	57
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	58
4.1. Охорона праці.....	58
4.2. Комп'ютерне забезпечення процесу оцінки радіаційної та хімічної обстановки.....	61
Висновки до розділу 4	63
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТОК А. Тези конференції	
ДОДАТОК Б. Скрипт обробки даних із файлу даних у текстовому форматі	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

CS (англ. Chip Select) – вибір мікросхеми.

FAT (англ. File Allocation Table - таблиця розміщення файлів) – файлова система.

SCK (англ. Serial Clock) – послідовний тактовий сигнал.

SDI (англ. SerialDataIn) – послідовний вхід даних.

SDO (англ. SerialDataOut) – послідовний вхід даних.

SPI (англ. Serial Peripheral Interface) – послідовний периферійний інтерфейс.

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач.

КАС – керований артилерійський снаряд.

МК – мікроконтролер.

ОС – операційна система.

ПЗ – програмне забезпечення.

ФС – файлова система.

ЧЕ – чутливий елемент.

ВСТУП

Актуальність теми. Масштабна автоматизація всіх галузей спричинила докорінні зміни у вимірювальній техніці: крім основного завдання - вимірювання до неї увійшло та інформаційне обслуговування досліджуваного об'єкта, до якого можна віднести автоматичний збір, доставку та відображення інформації, а також її обробку та аналіз. У зв'язку з цим відбувся перехід від окремого вимірювального приладу до інформаційно-вимірювальної системи, здатної вирішувати поставлене завдання.

Телеметрія, телевимір (дистанційне вимірювання) - сукупність технологій, що дозволяє проводити віддалені вимірювання та збирання інформації для надання оператору або користувачу. Хоча ця дефініція здебільшого має стосунок до механізмів із наявністю бездротового передавання інформації (як то, радіо чи інфрачервоні частоти) вона ще і містить дані, котрі передаються за допомогою інших засобів масової інформації, комунікації, таких як телефонні чи комп'ютерні мережі, оптоволокну чи інші провідні зв'язки. Засоби телеметрії є сильним інструментом пізнання світу. Контроль найрізноманітніших явищ, процесів і об'єктів, визначення умов їх функціонування, випробування нових зразків техніки та озброєння стали можливими на основі використання засобів телеметрії.

У світі багато часу приділяється проектування інформаційно-вимірювальних систем. У цих системах велике поширення набули електронно-цифрові прилади. До їх переваг можна віднести значну швидкість проведення вимірювань величин,, гнучкий інтерфейс, зручну форму подання інформації, меншу похибку вимірювання порівняно з механічними та електромеханічними приладами тощо. Все це дає можливість розвитку даних систем та їх застосування у різних галузях виробництва. Тому на сьогоднішній день одним з головних напрямів науково-технічного прогресу є розвиток мікроелектроніки та її використання у промисловому виробництві, у різних системах управління процесами та об'єктами.

Мета дослідження: проектування та реалізація системи збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу із можливістю запису даних у файл у текстовому вигляді.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- вивчити будову та елементи управління КАС;
- провести вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи;
- розробити структурну схему системи;
- розробити електричну схему з'єднань давачів до пристрою збору інформації;
- розробити алгоритмічно-програмне забезпечення пристрою збору інформації;
- провести налагодження програмної частини та макетне тестування на налагоджувальній платі блоку збору даних.

Об'єкт дослідження: збір телеметричної інформації і параметрів руху КАС.

Предмет дослідження: апаратне та програмно - алгоритмічне забезпечення системи збору телеметричної інформації та параметрів руху КАС.

Методи дослідження: фундаментальні положення комп'ютерної інженерії, проведення конфігурування в середовищі STM32CubeMX, експериментальне налагодження.

Наукова новизна отриманих результатів:

- отримав подальший розвиток алгоритм створення текстового подання оцифрованих даних для забезпечення візуального контролю їх коректності при попередньому аналізуванні та спрощенні імпорту зареєстрованої телеметричної інформації до спеціалізованих пакетів обробки даних.

Практичне значення результатів кваліфікаційної роботи. Полягає у застосуванні результатів дослідження при випробуваннях та використанні нових зразків озброєння та техніки для кращої керованості снаряду.

Публікації. Окремі результати дослідження апробовано на XIII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 грудня 2025 р) як опубліковані тези.

Структура роботи. Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Опис керованого снаряду

КАС є пристроєм автоматичного управління (снарядом), призначеним для доставки з високою точністю в точку з відомими координатами корисного навантаження (бойової частини) в автоматичному режимі. Реалізація методів керування пристроєм (снарядом) базується на використанні інформації від зовнішніх джерел (наприклад, радіолокаційних станцій) у вигляді випромінювання у частотному діапазоні радіохвиль [1, 2].

1.1.1. Будова та призначення елементів управління артилерійського снаряда. До складу КАС, зображеного на рис. 1.1, входять:

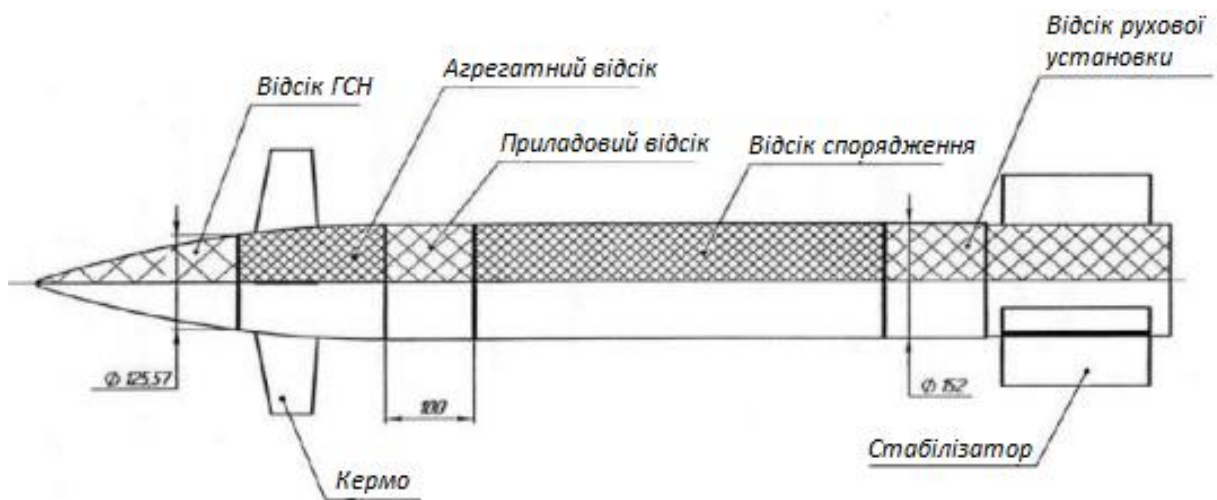


Рис. 1.1. Макет КАС

- відсік головки самонаведення (ГСН);
- кермо;
- агрегатний відсік;
- приладовий відсік;
- відсік спорядження;

- відсік рухової установки (РУ);
- стабілізатор.

Відсік головки самонаведення містить у своєму складі поворотну оптичну систему інфрачервоного діапазону для захоплення і ведення цілі. Оптична система відведена для формування сигналу керування, котрий втілює активне самонаведення снаряда.

Керма – це аеродинамічні поверхні з механізмами розкриття. У складеному положенні керма утримуються фіксаторами всередині КАС. При виході КАС зі ствола зброї керма виходять через пази корпусу КАС під дією пружин. Керма розкриваються при спрацьовуванні інерційного замка, що фіксує керма в транспортному положенні до здійснення пострілу, і звільняє їх після пострілу. Керма розкриваються після розкриття лопатей стабілізаторів.

Агрегатний відсік снаряда призначений для розміщення основних його агрегатів (кермо, кермові приводи).

Приладовий відсік необхідний для встановлення систем, що не вимагають доступу для обслуговування, у тому числі бортової системи управління (БСУ). Його об'єм герметичний, ізольований від інших відсіків і залитий спеціальним компаундом, що запобігає вільному переміщенню кабелів, обриву давачів та інших приладів. Застосовуваний компаунд також має високу частоту резонансу, що не дозволяє створювати коливання компаунду при пострілі і, відповідно, не допускає руйнування вмісту приладового відсіку.

Відсік спорядження зберігає необхідний запас твердого палива (заряду) для РУ і корисне навантаження, що є зарядом вибухової речовини.

Відсік РУ призначений для поступального руху із заданою швидкістю на стартовій ділянці та підтримання середнього її значення на маршевій ділянці траєкторії польоту КАС. РУ складається з двигуна, заряду та запалювального пристрою. Запалювальний пристрій призначений для запалювання заряду РВ при пострілі.

Стабілізатор є оперенням, що складається з набору 8-ми крил. Це конструктивний елемент ракети, відповідальний за стійкість у польоті. Після

виходу снаряда зі ствола зброї піддон відокремлюється від снаряда за допомогою газодинамічної системи відділення піддону. Піддон захищає стабілізатори від дії порохових газів. Піддон відокремлюється з відривом 10 м від гармати. Після відділення піддону розкриваються лопаті стабілізаторів.

Існує досить велика різноманітність КАС, кожен з яких призначений для виконання своїх завдань. Команди БСУ використовуються для коригувального управління рухом центру мас та управління роботою різної бортової апаратури.

До складу електронних систем КАС, зображених на рис.1.2, входять:

- давачі телеметричної інформації;
- бортове ПЗ;
- бортова ЕОМ у складі БСУ;
- наземне ПЗ.

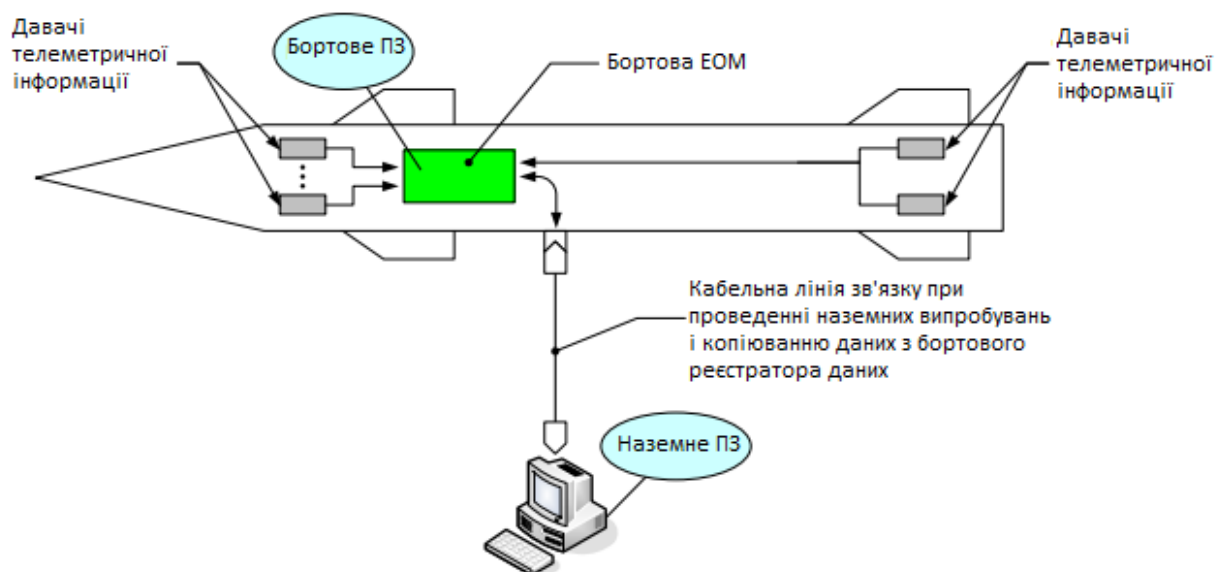


Рис. 1.2. Структурна схема систем КАС під час передачі телеметричної інформації

1.1.2. Організація випробувань. Метою проведення випробувань є підтвердження працездатності механічних систем КАС після навантаження пострілу.

Завданнями випробувань є:

- навантаження об'єкта випробувань заданим ударним імпульсом;
- визначення кутової швидкості макета КАС (за осями X, Y, Z) на виході зі ствола гармати;
- вимірювання лінійних прискорень (за осями X, Y, Z) та визначення поздовжньої швидкості виходу макета КАС зі ствола гармати;
- визначення моменту часу розкриття стабілізаторів;
- визначення моменту часу розкриття кермів;
- визначення моменту часу зняття обтічника головки самонаведення.

Випробуванню на вплив навантажень пострілу піддається макет КАС з такими основними масогабаритними характеристиками:

- калібр 152 мм;
- довжина 1300 мм;
- маса 45 – 50 кг.

Постріл макетом КАС здійснюється з гармати Д20 на «короткій» трасі ~ 1,0-7,0 км, з умовою реалізації швидкості на зрізі ствола - 300 м/с, по настільній траєкторії з кутом щодо лінії горизонту 150 градусів.

При проведенні випробування проводяться вимірювання параметрів навантаження КАС при його русі в стволі зброї та поздовжній швидкості макету на виході зі ствола (засобами виміру на гарматі Д20).

Телеметричні вимірювання на макеті КАС реєструються у системі телеметричної інформації.

Після приземлення макет КАС має бути знайдений та переданий для дефектації та розшифровки інформації, отриманої в режимі запам'ятовування бортовим автономним реєстратором, що рятується.

Розрахункові значення:

- дальність стрільби 4900 м;
- час руху 30 с.

Для забезпечення умов контролю руху КАС спроектована система збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу.

Перелік апаратури системи вимірювань наведено у табл. 1.1.

Перелік апаратури системи вимірювань

Найменування	Кільк	Опис та розташування
Вимірювач лінійних прискорень ADXL 322	3	Осі чутливості паралельні до осей X, Y, Z виробу
Давач кутової швидкості ADXRS 652	3	Осі чутливості паралельні осям X, Y, Z виробу
Давач кутової швидкості ADXRS 649	1	Вісь чутливості паралельна до осі X виробу
Давач прискорення MMA 6231	1	Вісь чутливості паралельна до осі X виробу
Давач розкриття вузла K25.1833.000	12	У вузлах повороту/розкриття стабілізаторів
Давач відокремлення K25.1811.000	1	На стику відсіку ГСН із агрегатним відсіком
Блок реєстратора польотної інформації	1	Блок, що розробляється у межах цієї роботи. Розташований у приладовому відсіку
Система автономного живлення (акумулятори)	1	Живлення електронних блоків та давачів

1.2 Аналіз технічного завдання

Потрібно розробити блок для збору інформації з давачів, встановлених на керованому снаряді (табл. 1.2) та забезпечити збереження телеметричної інформації на карту пам'яті microSD у файлі формату "dat".

Вихідні сигнали з аналогових давачів необхідно перетворити на двійковий код для подальшої роботи з даними. Реалізувати це можна двома способами:

- використовуючи вбудований АЦП МК;
- використовуючи зовнішній АЦП, що під'єднується до МК.

Для оптимізації системи будемо використовувати перший варіант.

Давачі, встановлені на КАС

Найменування	Кількість	Тип вихідного сигналу
Вимірювач лінійних прискорень ADXL 322	3	Аналоговий
Давач кутової швидкості ADXRS 652	3	Аналоговий
Давач кутової швидкості ADXRS 649	1	Аналоговий
Давач прискорення MMA 6231	1	Аналоговий
Давач розкриття вузла K25.1833.000	12	Цифровий
Давач відділення K25.1811.000	1	Цифровий

Для оцифровування сигналів, що надходять з давачів, будемо використовувати вбудований в МК АЦП, також з його допомогою записуватимемо отримані дані на карту пам'яті (MicroSD). Передача вимірянних та накопичених у тимчасовому буфері (ОЗП) даних в енергонезалежну пам'ять здійснюватиметься за інтерфейсом SPI. MicroSD використовуватиме ФС FAT32. Для роботи з нею скористаємося сторонньою бібліотекою FatFs, що розповсюджується вільно та підходить для більшості МК.

Виберемо МК з 8 або більше каналами АЦП, для підвищення швидкодії перетворень. При виборі МК потрібно врахувати можливість роботи з карткою пам'яті бібліотеки FatFs. Цим вимогам задовольняє МК STM32F405RGT6.

Опис всіх давачів з табл. 1.2 та МК буде наведено у розділі 2.

1.3 Модель похибки та її облік на борту

Похибкою вимірювання називається відхилення результату вимірювання від справжнього значення вимірюваної величини. Похибки вимірювань характеризують недосконалість вимірювань. Розрізняють похибки абсолютні та відносні. Відносні похибки найчастіше виражають у відсотках [3]. З погляду похибки вимірювань найкращою математичною моделлю будь-якого ЧЕ є пряма

пропорційність через відомий і стаціонарний коефіцієнт передачі фізичної величини вихідний сигнал ЧЕ (рис.1.3):

$$U_{\text{вих}} = k \cdot x \quad (1.1)$$

де x – реально діюча фізична величина (у моєму випадку – вплив прискорення, кутової швидкості).

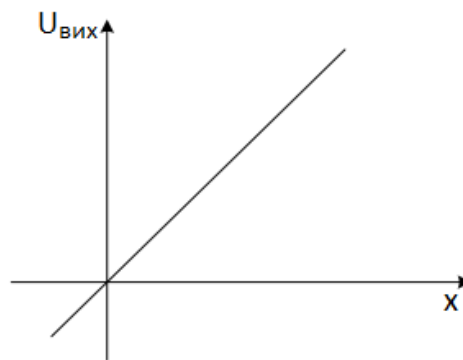


Рис. 1.3. Ідеальна залежність

У практичних вимірюваннях найбільш значущими (вагомими) похибками ЧЕ, у тому числі використовуваних для задач телеметрії рухомих об'єктів є: такі.

1. Наявність вихідного сигналу (у найпростішому випадку - постійна) за відсутності дії фізичної величини, що називається постійним зміщенням

$$U_{\text{вих}} = k \cdot x + U_0 \quad (1.2)$$

де U_0 - постійне зміщення (добавка, адитивна складова похибки).

2. Наявність у вихідному сигналі ЧЕ деякої випадкової складової, яка має той чи інший закон розподілу (випадковий шум).

$$U_{\text{вих}} = k \cdot x + U_0 + \xi(t) \quad (1.3)$$

де $\xi(t)$ -випадковий шум. Вплив даної випадкової складової сигналу (за умови

рівності нулю її математичного сподівання) можна мінімізувати шляхом апаратної чи програмної фільтрації.

3. Дрейфи нульового зміщення та/або масштабного коефіцієнта передачі, що викликаються, як правило, зміною температури (найбільш значущий фактор), напруги живлення і т.д

$$U_{\text{вих}} = k(t, t^{\circ}\text{C}, \dots) \cdot x + U_0(t, t^{\circ}\text{C}, \dots) \quad (1.4)$$

де t - час, $t^{\circ}\text{C}$ - температура.

4. Обмежений діапазон вимірювання ЧЕ, викликаний його конструктивними обмеженнями (наприклад, обмеженістю ходу підпружиненої маси для найпростішого акселерометра). При некоректному виборі ЧЕ можливі ситуації, коли зміна фактично фізичної величини, що діє, не призводить до зміни вихідного сигналу ЧЕ.

5. Похибка від запуску до запуску. У ряді випадків окремі компоненти моделі похибок ЧЕ (наприклад, нульове зміщення) може набувати випадкового значення (з деякого діапазону) при повторному ввімкненні ЧЕ. Наявність цієї похибки змушує здійснювати калібрування (тестування) ЧЕ після його запуску.

У телеметричній системі, що розробляється, застосовані ЧЕ призначені для вимірювання лінійних прискорень і кутових швидкостей з метою оцінки діючих на маневруючий об'єкт впливів, а не розв'язання класичної навігаційної задачі (обчислення лінійних і кутових координат об'єкта). У цьому випадку, а також з урахуванням незначного (до 30 с) часу руху об'єкта (і відповідно меншої накопиченої похибки) впливом деяких похибок можна загалом знехтувати або застосувати менш складний алгоритм їх обліку (компенсації).

Далі розберемо алгоритм розв'язання класичної навігаційної задачі.

Сигнал з лінійних акселерометрів переводиться залежністю певної функції від прискорення вздовж осі чутливості $U_{\text{вих}} = f(a)$. Середнє прискорення

можна знайти за формулою $a_{\text{ср}} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$. Знаючи прискорення, можна порахувати швидкість:

$$V = \int_0^t a \, dt + C \quad (1.5)$$

Як правило, кожен акселерометр у ракетах, літаках, снарядах вимірює лінійне прискорення, що діє вздовж однієї осі. Для вимірювання просторових переміщень встановлюють 3 акселерометри, осі чутливості яких співнаправлені з системою координат OXYZ, пов'язаної з об'єктом, що рухається.

$$\begin{aligned} V_x &= \int_0^t a_x \, dt + C \\ V_y &= \int_0^t a_y \, dt + C \\ V_z &= \int_0^t a_z \, dt + C \end{aligned} \quad (1.6)$$

Сигнал, що надходить з давачів, припустимо a_x , інтегрується і знаходиться швидкість по даній осі пов'язаної (зі снарядом) системи координат або при наземній обробці телеметричної інформації або безпосередньо при русі з використанням бортового інтегратора. Далі за відомою швидкістю, можна обчислити поточну координату, тобто положення.

$$\begin{aligned} x &= \int_0^t V_x \, dt \\ y &= \int_0^t V_y \, dt \\ z &= \int_0^t V_z \, dt \end{aligned} \quad (1.7)$$

За цими координатами у випадку інтегрування на борту снаряда можна знайти «помилку положення» і усунути її, розрахувавши за відомою формулою і відпрацювавши за допомогою керма снаряда по командах від системи управління снаряда.

Для визначення навігаційних параметрів (x, y, z) у стартовій системі координат (пов'язаної із гарматою) необхідні більш складні розрахунки, наприклад, за допомогою перетворень Родріга-Гамільтона, що застосовуються для високошвидкісних, маневрених об'єктів.

Розглянемо рішення навігаційної задачі докладніше на прикладі давача кутової швидкості ADXRS 652.

Давач необхідний для вимірювання кутових переміщень за 3 осями: ристання, тангаж, крен.

Сигнал з давача ADXRS 652 перекладається залежністю певної функції від кутової швидкості повороту навколо його осі чутливості $U_{\text{вих}} = f(\omega)$.

За відомої кутової швидкості кут повороту об'єкта можна визначити шляхом інтегрування $\alpha = \int_0^t \omega dt$. Для визначення просторової орієнтації дані операції виконуються для кожної взаємоортогональної осі:

$$\begin{aligned}\varphi &= \int_0^t \omega_x dt + C \\ \psi &= \int_0^t \omega_y dt + C \\ \vartheta &= \int_0^t \omega_z dt + C\end{aligned}\tag{1.8}$$

Для визначення навігаційних параметрів (φ , ψ , ϑ) у стартовій системі координат (пов'язаної з гарматою) необхідні складніші обчислення (алгоритми).

У варіанті безплатформної інформаційно-навігаційної системи (БІНС)

обчислення просторової орієнтації системи координат, пов'язаної з рухомим об'єктом обчислюється на основі сигналів давачів, інтегруванням їх сигналів (з метою отримання кутових параметрів орієнтації) та подальшим використанням наступного математичного апарату:

- кінематичних рівнянь Ейлера (рис. 1.4);
- кінематичних рівнянь Пуассона (рис. 1.5);
- кватерніонних кінематичних рівнянь (рис. 1.6).

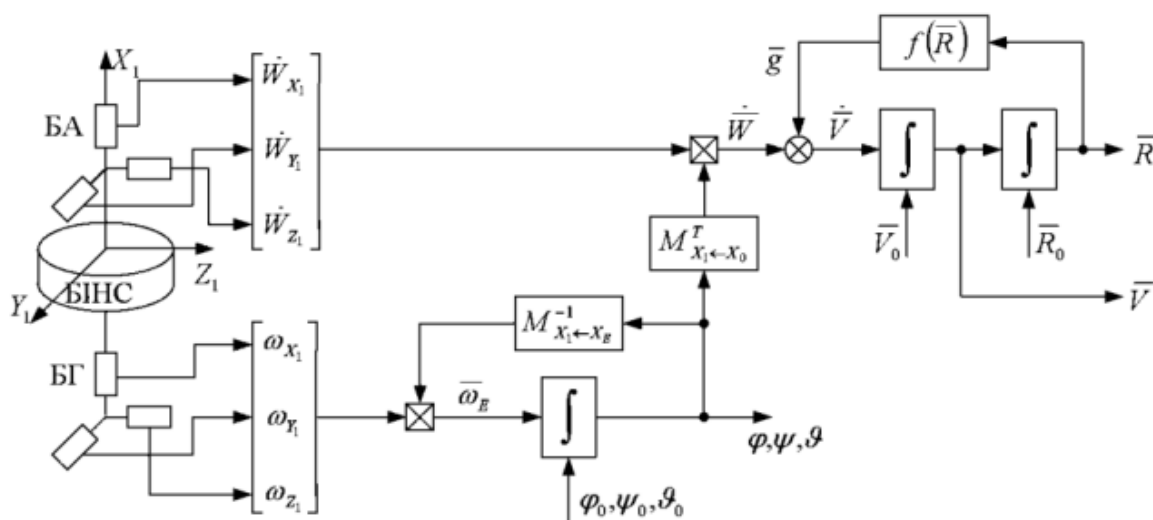


Рис. 1.4. Функціональна схема БІНС на основі кінематичних рівнянь Ейлера

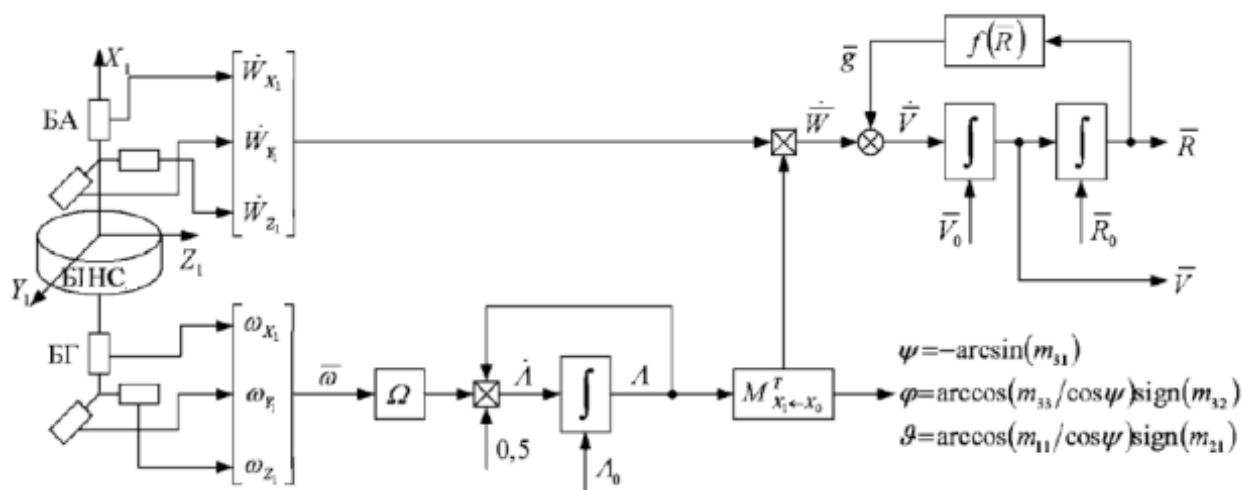


Рис. 1.5. Функціональна схема БІНС на основі кінематичних рівнянь Пуассона

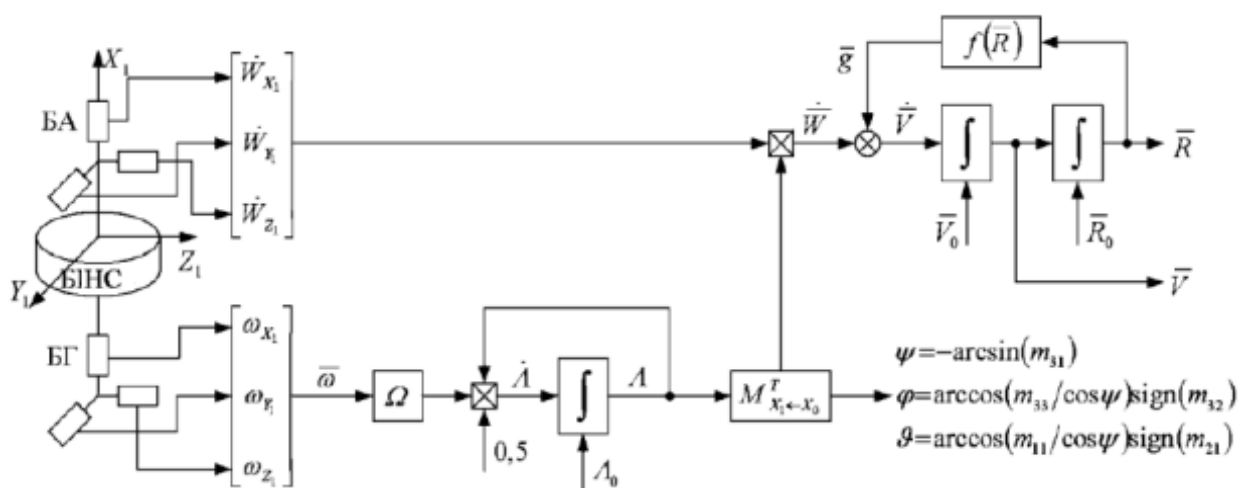


Рис.1.6. Функціональна схема БНС на основі кватерніонних кінематичних рівнянь

Слід зазначити, що у разі використання як платформних, так і безплатформних інформаційно-навігаційних систем необхідно виконувати компенсацію (віднімання) проекцій вектора прискорення вільного падіння (величини цих проекцій залежать від орієнтації рухомого об'єкта на осі чутливості акселерометрів, що відображено на рис. 1.4 - 1.6).

Висновки до розділу 1

У першому розділі наведено докладний опис КАС, продемонстровано його будову та особливості управління. Розглянуто організацію випробувань КАС.

Проаналізовано технічне завдання на проектування, визначено основні складові конструктивні елементи розроблюваної системи керування: давачі та МК.

Досліджено основні похибки ЧЕ, котрі є найвагомими у реальних практичних вимірюваннях, зокрема і для задач віддаленого керування рухомими об'єктами.

РОЗДІЛ 2

АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1. Опис давачів системи

2.1.1. Вимірювач лінійних прискорень ADXL322. Призначений для вимірювання лінійних прискорень у діапазоні ± 2 g за двома ортогональними осями. Використовується на рухомих об'єктах.

ADXL322 - це малогабаритний малопотужний, комплектний двоосьовий акселерометр з двома вихідними сигналами типу «напруга», величина яких пропорційна повному лінійному прискоренню, що вимірюється, вздовж осей чутливості акселерометра. Акселерометр вимірює як динамічне прискорення (вібрація), так і статичне прискорення (сила тяжіння). Типовий рівень шуму ADXL322 становить $220 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$, що дозволяє виділяти корисний сигнал нижче 2 mg ($19,6 \text{ м/с}^2$) у додатках з дававчем нахилу з використанням вузької смуги пропускання (<60 Гц). Користувач вибирає пропускну спроможність акселерометра за допомогою конденсаторів C_X і C_Y на виводах X_{OUT} і Y_{OUT} . Залежно від сфери застосування можна вибрати смугу пропускання від 0,5 Гц до 2,5 кГц. Розташування виводів ADXL 322 показано на рис. 2.1 [4].

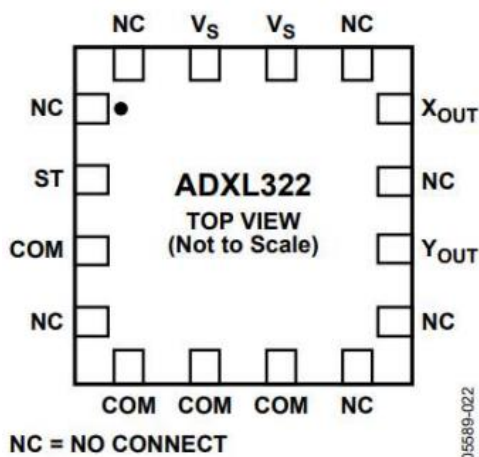


Рис. 2.1. Розміщення виводів ADXL 322

Основні технічні характеристики ADXL 322 наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Основні технічні характеристики ADXL 322

Параметр	Значення
Габаритні розміри, мм	7x7x3
Маса, г	1
Діапазон вимірювання, g	± 2
Чутливість, мВ	420
Напруга живлення, В	$5 \pm 0,1$
Кількість осей чутливості	2
Частотний діапазон, Гц	1 - 500
Тип сигналу	Аналоговий
Ресурс роботи, година	10000
Стійкість до ударів, g	200

2.1.2. Давач кутової швидкості ADXRS 652. Це малогабаритний малопотужний гіроскоп, призначений для вимірювання кутових швидкостей в діапазоні до ± 360 °/сек за нормаллю до поверхні корпусу давача. Застосовується на рухомих об'єктах. У ньому застосовується технологія мікрообробки поверхні Analog Devices, Inc., що дозволяє створити функціонально завершений та недорогий давач, інтегрований з усією необхідною електронікою на одному чіпі.

ADX RS652 – це промисловий гіроскоп, який на 100% сумісний за виводами (рис. 2.2), типорозміром корпусу, температурним діапазоном та функціями з відповідними автомобільними гіроскопами ADXRS620 та ADXRS622.

Вихідний сигнал RATEOUT є напругою, пропорційною кутовій швидкості щодо осі, перпендикулярної до верхньої поверхні корпусу. Зовнішній конденсатор використовується для встановлення смуги пропускання.

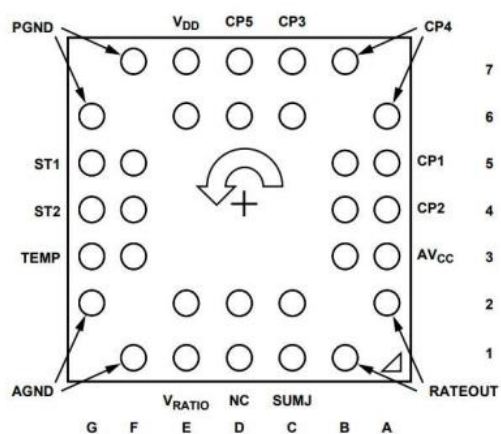


Рис. 2.2. Розміщення виводів ADXRS 652

Для введення зовнішньої алгоритмічної компенсації вимірювальних похибок передбачений вихід вбудованого в гіроскоп датча температури. Два цифрові входи самоперевірки електромеханічно збуджують датч, щоб перевірити правильність роботи як датча, так і ланцюгів формування сигналу. ADXRS652 доступний у корпусі BGA розміром 7 мм x 7 мм x 3 мм.

У табл. 2.2 наведено основні технічні параметри датча [5].

Таблиця 2.2

Основні технічні характеристики ADXRS 652

Параметр	Значення
Габаритні розміри, мм	33,5x24
Маса, г	1
Діапазон виміру, °/сек	±360
Час запуску, мс	3
Напруга живлення, В	5±0,1
Кількість осей чутливості	1
Тип сигналу	Аналоговий
Ресурс роботи, година	10000
Діапазон температур, °C	-40 ° C +105
Стійкість до ударів, g	до 10000

2.1.3. Давач кутової швидкості ADXRS649. Це повноцінний гіроскоп, який використовує технологію мікрообробки поверхні Analog Devices, Inc. для створення функціонально завершеного та недорогого давача кутової швидкості, інтегрованого з усією необхідною електронікою на одному чіпі.

ADXRS649 призначений для вимірювання кутових швидкостей в діапазоні ± 20000 °/сек (± 50000 °/сек шляхом додавання зовнішнього резистора) по нормалі до поверхні корпусу давача. Призначений для використання на рухомих об'єктах.

Технологія виготовлення цього пристрою є запатентованим високопродуктивним процесом BiMOS з багаторічною перевіреною надійністю в польових умовах. ADXRS649 є гіроскопом промислового рівня, який на 100% сумісний з ADXRS649 і ADXRS652 за виводами (рис.2.3), корпусом, температурами та функціям, але при цьому забезпечує поліпшене пригнічення вібрації.

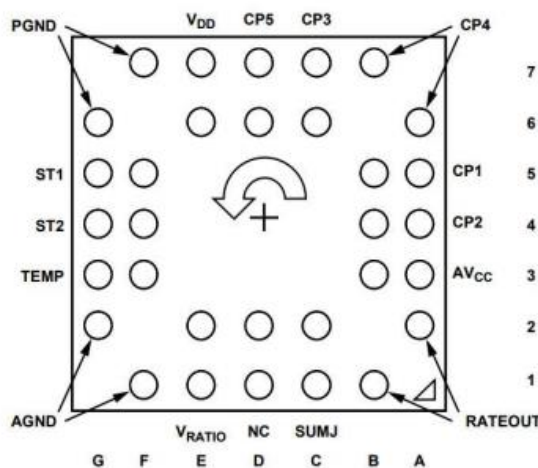


Рис. 2.3. Розміщення виводів ADXRS649

Вихідний сигнал, RATEOUT (1B, 2A) є напругою, пропорційною кутовій швидкості щодо осі, перпендикулярної верхній поверхні корпусу. Вихідний сигнал є логарифмічним стосовно наданого еталонного джерела живлення.

Для введення зовнішньої алгоритмічної компенсації вимірювальних похибок передбачено вивід вбудованого давача температури в гіроскоп. Два

цифрові входи самоперевірки електромеханічно збуджують давач, щоб перевірити правильність роботи як давача, так і ланцюгів формування сигналу. ADXRS649 доступний у корпусі BGA розміром 7 мм x 7 мм x 3 мм.

У табл. 2.3 наведено основні технічні характеристики [6].

Таблиця 2.3

Основні технічні характеристики ADXRS649

Параметр	Значення
Габаритні розміри, мм	7 x 7 x 3.
Маса, г	0,5
Діапазон виміру, °/сек	±20000 (±50000)
Час запуску, мс	3
Напруга живлення, В	5±0,1
Кількість осей чутливості	1
Тип сигналу	Аналоговий
Ресурс роботи, година	10000
Діапазон температур, °C	40 ° C +105
Стійкість до ударів, g	до 10000

2.1.4. Вимірювач лінійних прискорень MMA6231. Призначений для вимірювання лінійних прискорень в діапазоні ±10 g по двох ортогональних осях. Призначений для використання на рухомих об'єктах.

Основні технічні характеристики MMA6231 перелічені у табл. 2.4 [7].

Основні технічні характеристики ММА6231

Параметр	Значення
Габаритні характеристики, мм	33,5x24
Маса, г	1
Діапазон вимірювання, g	± 10
Чутливість, мВ	120
Напруга живлення,	$5 \pm 0,1$
Кількість осей чутливості	2
Частотний діапазон, Гц	300
Тип сигналу	Аналоговий
Ресурс роботи, година	10000
Стійкість до ударів, g	200

2.1.5. Давач відокремлення K25.1811.000. Призначений для визначення моменту поділу об'єктів. Давач не має механічних контактів і може використовуватися там, де неприпустимі осьові пружні зусилля між об'єктами, що розділяються. При роботі давача потрібний дотик до його чутливого торця з алюмінієвою пластиною діаметром не менше 10 мм та товщиною щонайменше 2 мм. Основні технічні характеристики зазначені у табл. 2.5.

Давач відокремлення може працювати з пластиною з будь-якого іншого провідного матеріалу, але відстань, на якій він спрацьовує, відрізнятиметься від зазначеного. Спрацьовування давача відбувається при видаленні алюмінієвої поверхні, що контактує з ним. Основні переваги давача K25.1811.000:

- використання захисту від зворотного включення, що забезпечує додатковий захист від неправильних дій персоналу;

– використання стандартних напруг 0 і 5 для подання логічних рівнів «0» і «1» вихідного сигналу давача. Таким чином досягається можливість простого сполучення давача з цифровими системами, котрі реєструють.

Таблиця 2.5

Основні технічні характеристики K25.1811.000

Параметр	Значення
Відстань спрацьовування, мм при температурі навколишнього середовища а) від 15 до 35 °С б) від 5 до 80 °С	від 2,2 до 3,0 від 1,6 до 3,6
Вихідна напруга давача, В а) до відокремлення б) після відокремлення	5,0(+0,5 --1.0) 0,0±0,5
Вихідний опір давача, Ом, не менше	200
Час спрацьовування, мс, трохи більше	5
Напруга живлення постійного струму, В	6,0+0,15
Струм споживання, мА, не більше	15
Маса, кг, не більше	0,02
Габаритні розміри, мм	Ø13x30
Довжина кабелю, мм	270

2.1.6. Давач розкриття вузла K25.1833.000. Призначений для визначення моменту розкриття стабілізатора чи керма макета снаряда. В основу роботи давача розкриття вузла покладено контактний метод. Контакти давача нормально замкнуті. Давач складається з двох пластин, пов'язаних між собою нікелевим провідником, між пластинами залишається вільна зона шириною 4 мм.

Пластини наклеюються на рухомий та нерухомий об'єкт так, щоб вільна зона знаходилася на стику об'єктів, при розриві об'єктів відбувається розрив нікелевого провідника.

Основні технічні характеристики вказані в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Основні технічні характеристики K25.1833.000

Параметр	Значення
Габаритні характеристики, мм	18x24
Вихідний сигнал при замкнутому ланцюгу («складання» пристиковано)	4.5 - 5 В
Вихідний сигнал при розімкнутому ланцюгу («складання» відстиковано)	< 0.5 В
Маса, г	20

2.2. Опис мікроконтролера

STM32F4xx означає сімейство МК, що має наднизьке енергоспоживання на основі високопродуктивного 32-розрядного ядра RISC. Частота роботи МК - до 120 МГц.

Обчислювальне ядро CortexM4 оснащено блоком виконання арифметичних операцій з плаваючою комою одинарної точності.

Також до складу МК входить широкий набір периферійних пристроїв: два швидких 12бітних АЦП (5 Msps, мільйонів вибірок в секунду), два компаратора, два операційні підсилювачі, два канали ЦАП, два 32-бітних таймери, призначених для керування електродвигунами, сім універсальних 16-бітних таймерів та два 16-бітових таймери з низьким енергоспоживанням. Підтримуються два цифрові фільтри для зовнішніх сигмадельта модуляторів (DFSDM). Крім того, доступно до 24 ємнісних сенсорних каналів.

МК також оснащені стандартними та розширеними інтерфейсами зв'язку, такими як:

- чотири послідовні інтерфейси I2C;

- три послідовні інтерфейси SPI;
- п'ять послідовних інтерфейсів USART;
- два інтерфейси BOA;
- два інтерфейси карт пам'яті SD/MMC
- один послідовний інтерфейс CAN;
- один повношвидкісний послідовний інтерфейс USB OTG;
- інтерфейс відеокамери;
- синхронний паралельний інтерфейс даних (PSSI).

МК працюють у діапазоні температур від -40 до +85 °C та від -40 до +125 °C при напрузі живлення від 1,71 до 3,6 В. Широкий набір різних режимів енергозбереження дає змогу розробляти пристрої з низьким енергоспоживанням. Підтримується ряд додаткових незалежних джерел живлення, таких як аналоговий незалежний вхід живлення для АЦП, ЦАП, операційних підсилювачів та компараторів, виділений вхід живлення 3,3В для USB та до 14 дискретних входів/виходів, які можуть бути запитані окремою напругою до 1,08В. Вхід живлення VBAT дозволяє резервувати RTC та регістри. Сімейство STM32F405RGT6 пропонує вісім корпусів від 48 до 169 контактів [8]. Розташування виводів STM32F405RGT6 показано на рис. 2.4, основні технічні характеристики наведено у табл. 2.3.

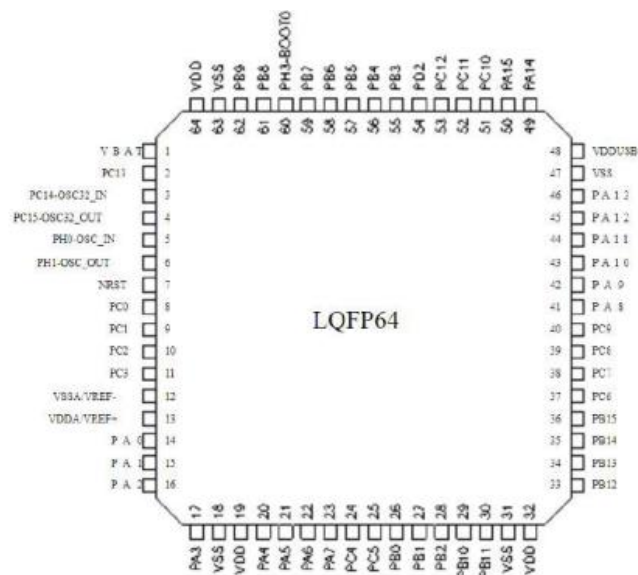


Рис. 2.3. Розміщення виводів STM32F405RGT6

Основні технічні характеристики STM32F405RGT6

Параметр	Значення
Тактова частота, МГц	120
Пам'ять програм, МБайт	1
Тип пам'яті програм	FLASH
Пам'ять даних, кБайт	320
Переривань	48
Порти вводу/виводу	Порти А, В, С
Таймери	13 загального призначення, RTC, LPTIM
Модуль захоплення/порівняння/ШІМ	8
Модулі послідовного інтерфейсу	SPI, I2C, USART/UART, SAI, CAN
Кількість модулів та розрядність АЦП	2 x 12 розрядів
Доступна кількість вимірювальних каналів	16
Кількість модулів та розрядність ЦАП	2 x 12 розрядів
Кількість вихідних каналів	2
Корпус	LQFP64

2.3. Опис інтерфейсу SPI

Є послідовним синхронним стандартом передавання даних у режимі повного дуплексу, призначення якого— втілення звичайного та незатратного з'єднання МК та периферії. В SPI будь-яке передавання синхронізоване із загальним тактовим сигналом, котрий створюється ведучим пристроєм (процесором). Периферія, яка є стороною приймаючою (відомою) синхронізує одержання двійкового масиву тактовим сигналом. Ведучий пристрій вибирає приймаючий для передачі, активуючи сигнал «вибір кристала» (CS) на приймаючій мікросхемі. Периферія, не вибрана процесором, не бере участі у передачі SPI.

Фізично SPI втілено на базі зсувного регістру, котрий реалізує дві функції – передавання та приймання.

У SPI застосовують чотири цифрові сигнали:

- SDO (для передачі від ведучого пристрою до приймаючого);
- SDI (для передачі від приймаючого пристрою);
- SCK (для передавання тактового сигналу для пристроїв, котрі приймають дані);
- CS.

Вигляд з'єднання двох пристроїв - ведучого та приймаючого - через SPI представлена на рис. 2.4.

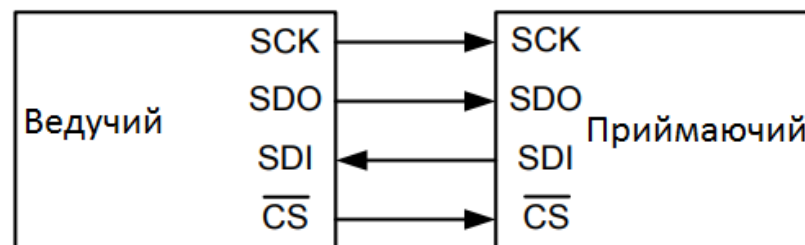


Рис. 2.4. З'єднання двох пристроїв по SPI

Часова діаграма циклу передачі даних SPI [9] відображена рис.2.5.

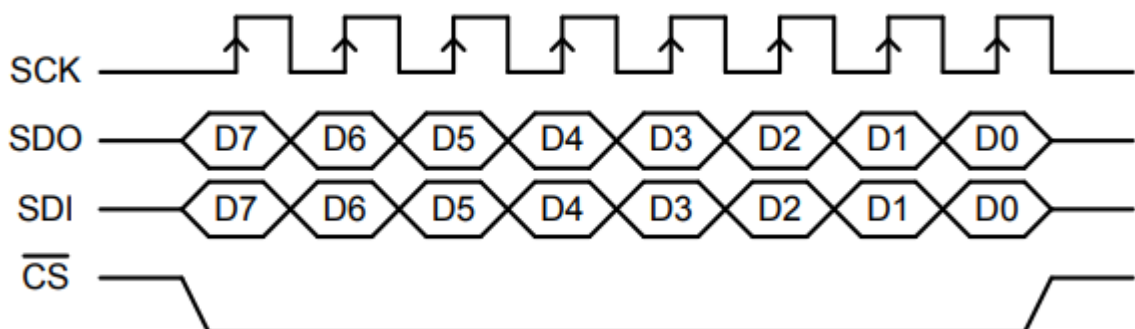


Рис. 2.5. Часова діаграма циклу передачі даних SPI

2.4. Опис файлової системи FAT

Є класичною архітектурою ФС, яка завдяки своїй простоті і досі масово

використовується для флешок, USB-накопичувачів, карт пам'яті та ін. В минулому вживалася і для вінчестерів. Є чотири варіанти FAT - FAT12, FAT16, FAT32 та exFAT (FAT64) [9]. Різняться між собою кількістю розрядів записів у структурі диску. Нова версія ФС exFAT (extended FAT) застосовується у більшості випадків для флеш-накопичувачів [10].

Основною відмінністю FAT32 від FAT16 є те, що змінився розмір логічного розділу диска. Це, відповідно, більш ефективне використання дискового простору — чим менше кластер, тим менше місця потрібно для зберігання файлу і, як наслідок, диск рідше стає фрагментованим. При застосуванні FAT32 максимальний розмір файлу може сягати 4 Гбайт мінус 2 байти. Якщо при використанні FAT16 максимальна кількість входжень у кореневий каталог обмежувалася 512, то FAT32 дозволяє збільшити це число до 65 535.

При використанні довгих імен файлів дані, необхідні для доступу з FAT16 та FAT32, не перекриваються. При створенні файлу з довгим ім'ям Windows створює відповідне ім'я у форматі 8.3 та одне або більше входжень до каталогу для зберігання довгого імені. Кожне наступне входження зберігає відповідну частину імені файлу у форматі Unicode. Такі входження мають атрибути "ідентифікатор тома", "тільки читання", "системний" та "прихований" - набір, який ігнорується MSDOS [11].

Підтримка карти SD в МК здійснюється за допомогою ФС FAT. Усі наявні на ринку SD -карти підтримують два стандарти зв'язку: SDBus та SPI. Як завжди, рідний інтерфейс (SDBus) пропонує великі можливості та високу швидкість роботи, але за рахунок збільшення складності інтерфейсу. З цієї причини зв'язок з SD -картами також можна здійснити з набагато простішим у використанні шини SPI, але при дещо обмежених можливостях. На рис. 2.6 показано підключення карти SD через шину SPI до МК.

Команди, що підтримуються SD –картам - кожна команда для відправки на SD -карту складається з шести байтів. Перший байт завжди є кодом команди, наступні чотири байти є його аргументом. Наприкінці відправляється байт контрольної суми CRC.

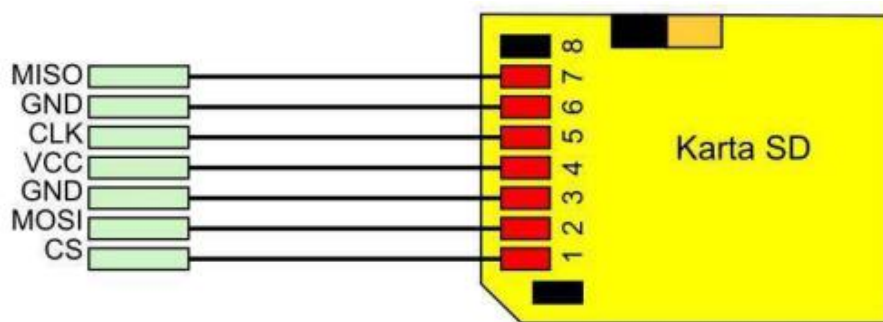


Рис. 2.6. Підключення SD -карти через шину SPI до МК STM32

В той час, як сума CRC перевіряється в робочому режимі за допомогою інтерфейсу SDBus, контрольна сума ігнорується картою при обміні даними через шину SPI. Тільки при надсиланні команди CMD0, що перемикає режим роботи з SDBus на SPI, потрібно байт CRC. Його не потрібно розраховувати будь-яким чином, оскільки він є фіксованим значенням і дорівнює 0x95.

У табл. 2.7 вказано кілька команд під час роботи з шиною SPI з описом аргументів. Крім стандартних команд CMO карти SD також можуть використовувати так звані прикладні команди (ACMO). Для відправки команди необхідно спочатку відправити команду CMO55, яка інформує SD-карту про те, що наступною командою буде ACMO.

Таблиця 2.7

Команди, що підтримуються SD-картами в режимі SPI

Команда	Опис
CMD0	скидає карту, дозволяє увімкнути режим шини SPI
CMD12	примусове завершення передачі безлічі блоків даних
CMD16	налаштування довжини блоку даних для читання/запису
CMD17	читання блоку пам'яті довжини, зазначеної CME16
CMD24	запис блоку пам'яті з довжиною, вказаною CME16
CMD32	адреса першого блоку, що видаляється, передається в аргументі
CMD33	адреса останнього блоку, що видаляється, передається в аргументі
CMD38	видаляє блоки, позначені CME32 та CMO33

З точки зору ФС кожен носій даних (жорсткий диск, картка пам'яті) поділено на сектори та кластери. Сектор - це найменша кількість байтів, яка може бути записана або прочитана. Зазвичай розмір сектора складає 512 байт. Файли зберігаються у пронумерованих кластерах.

Кожен кластер повністю виділено для цього файлу. Це означає, що навіть якщо файл набагато менший за розмір кластера, він все одно займає стільки ж, скільки один кластер на диску. Ключовим елементом ФС FAT є таблиця розміщення файлів.

Носій даних у ФС FAT розділений на п'ять частин, всі вони показані на рис. 2.7.



Рис. 2.7. Поділ носія інформації у системі FAT

Перша логічна частина носія даних, розташована в першому секторі, є зарезервованою областю, яка містить всю основну інформацію про поточний розділ (носії). За зарезервованою областю знаходяться таблиці розміщення файлів, які є основним джерелом інформації про дані, що зберігаються на носії. Зазвичай, крім основної таблиці розміщення, є її копія. Четверта область — це кореневий каталог, який створюється автоматично під час створення ФС. Останній, п'ятий сектор — це область даних.

2.5. Структурна схема системи збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу

За підсумками вибору компонентів сформуємо структурну схему системи (рис.2.8).

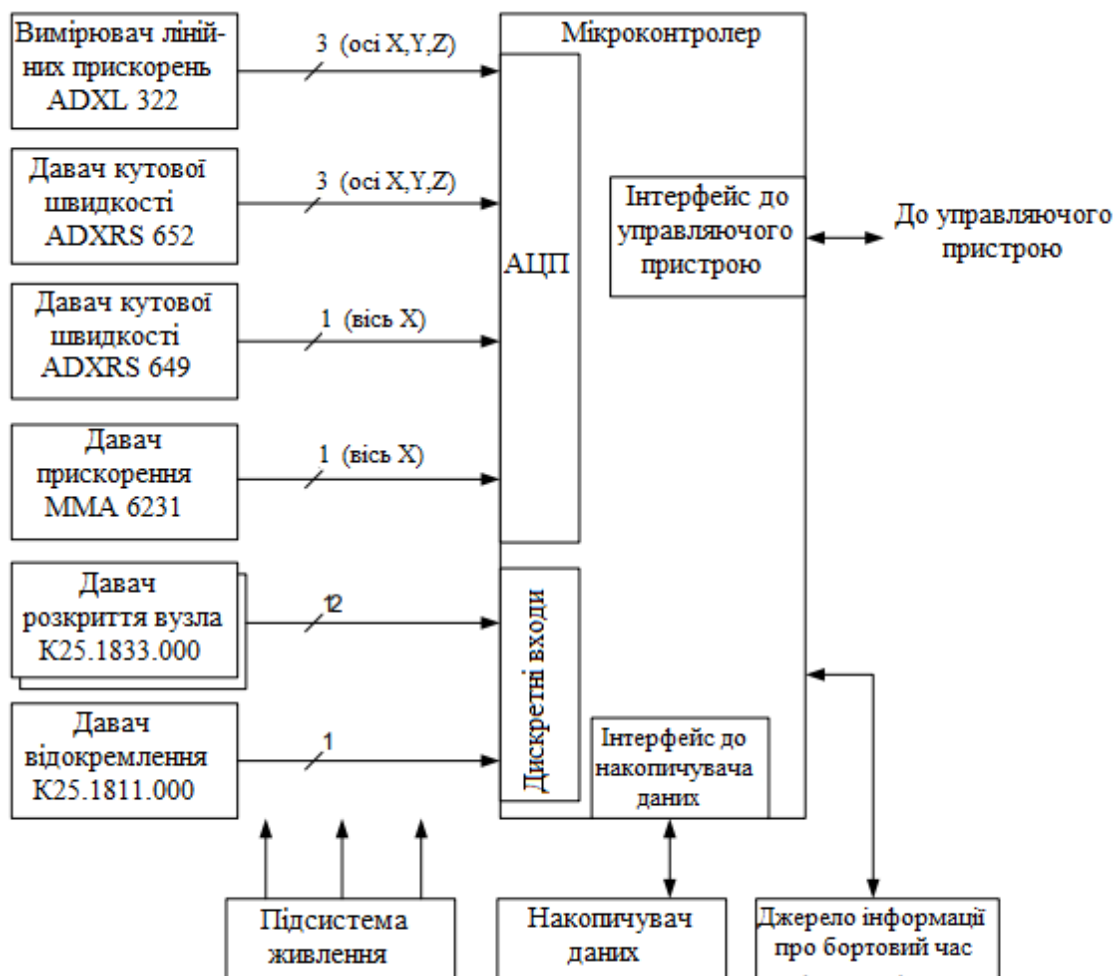


Рис. 2.8. Структурна схема системи

До складу системи входять: 4 зовнішні по відношенню до модуля збору даних мікромеханічних давачі про параметри руху виробу, 12 зовнішніх давачів розкриття, 1 зовнішній давач відокремлення. Основним вузлом системи є блок збору та реєстрації телеметричної інформації, виконаний у вигляді окремого пристрою, до складу якого входить МК, необхідні підсистеми (живлення, скидання), схема з'єднання з аналоговими виходами давачів, інтерфейси до накопичувача даних та до системи вищого рівня.

2.6. Під'єднання давачів

Система збору та реєстрації телеметричної інформації складається із наступних модулів і блоків:

- модуль акселерометрів, котрий містить у складі 2 типи датчиків лінійних прискорень (ADXL322 3 шт., MMA6231 1шт.). Позиція 1 на рис. 2.9;
- модуль одновісного датчика кутової швидкості ADXRS649 (діапазон вимірюваної кутової швидкості від 0 до 2000 кутових градусів в секунду), що встановлюється таким чином, щоб його вісь чутливості була спрямована з поздовжньою віссю рухомого блоку. Позиція 2 на рис. 2.9;
- конструктивно реалізований у вигляді куба блок одноосьових датчиків кутової швидкості ADXRS652 з розташуванням осей чутливості датчиків уздовж осей декартової системи координат, пов'язаної з корпусом виробу. Позиція 3 на рис. 2.9;
- блок збору та реєстрації телеметричної інформації. Позиція 4 на рис. 2.9;

Макет снаряда із системою збору та реєстрації телеметричної інформації зображено на рис.2.9.

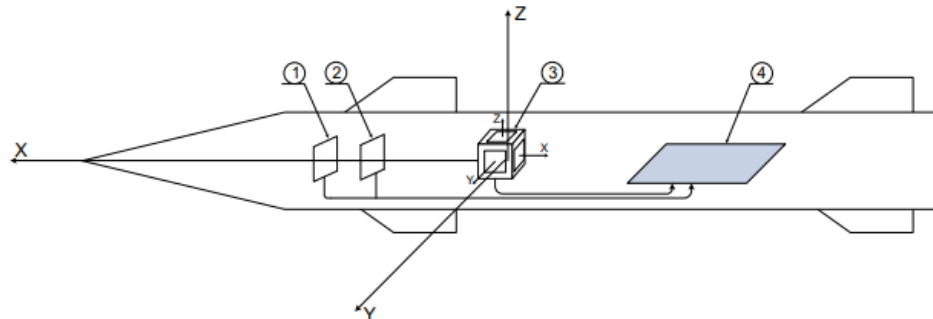


Рис. 2.9. Макет снаряда із системою збору та реєстрації телеметричної інформації

2.7. Оцінка необхідної ємності накопичувача даних та пропускної спроможності каналу запису даних

Проведемо оцінку необхідної ємності накопичувача, необхідної пропускної спроможності каналу запису даних як одного датчика, так і одночасної реєстрації всіх параметрів маневруючого виробу.

Для початку відзначимо, що в microSD об'єм карти пам'яті - не єдиний

важливий показник, варто сфокусуватися на класі швидкості. Він визначає мінімальну та максимальну швидкості запису. microSD -карти поділяються на дві групи, а саме: без підтримки (Speed Class) і з підтримкою інтерфейсу UHS (Ultra High Speed). UHS - високошвидкісний інтерфейс, тому бюджетні або старі моделі карт пам'яті не мають цього інтерфейсу [12].

Розглянемо Speed Class, зображений на рис малюнку 2.10. Цей клас визначає мінімальну швидкість запису даних. Розшифровка досить проста - цифра відповідає швидкості.



Рис. 2.10. Зображення класу швидкості Speed Class на карті

Виберемо відповідний клас microSD на основі даних з таблиць 2.7 та 2.8.

Таблиця 2.7

Клас швидкості Speed Class

Найменування	Швидкість, МБ/с
UHS-I Speed Class 1	10
UHS-I Speed Class 3	30

Таблиця 2.8

Клас швидкості UHS

Найменування	Швидкість, МБ/с
UHS-I Speed Class 1	10
UHS-I Speed Class 3	30

Далі розглянемо клас швидкості UHS, зображений на рис. 2.11. За аналогією з попереднім класом, цифра позначає мінімальну швидкість запису даних на карту.



Рис. 2.11. Зображення класу швидкості UHS на карті

Можна здійснити розрахунок необхідної швидкості запису, тобто. пропускної спроможності каналу запису [13]. Пропускна спроможність каналу – це максимальна швидкість передачі інформації. Пропускна спроможність каналу дорівнює кількості інформації, яка може передаватися за ним за одиницю часу. Обсяг переданої інформації V обчислюється за такою формулою:

$$V = qt, \quad (2.1)$$

де q - пропускна спроможність каналу (у бітах в секунду або подібних одиницях);
 t - час передачі. Зазвичай пропускна спроможність вимірюється і у кратних одиницях, як то Кбіт/с та Мбіт/с.

Розрахунок виконаємо виходячи з наступних вихідних даних:

- необхідна (задана) частота опитування – 4000 Гц;
- кількість аналогових вимірювальних каналів – 8;
- кількість дискретних вимірювальних каналів – 13;
- розрядність АЦП – 12 біт.

Для зберігання результату АЦП по одному (довільному) аналоговому каналу потрібно 16 біт (2 байти) через байтову (кратну 8) організацію пам'яті. З кількості аналогових каналів за одне опитування АЦП потрібно записати 16

байт. Для зберігання стану одного дискретного каналу (має стан «так/ні», «замкнуто/розімкнуто») достатньо одного біта інформації. Тобто 13 дискретних каналів можна розмістити («упакувати») на 2 байти (16 біт). Таким чином, за один цикл опитування отримуємо 18 байт інформації.

За одну секунду загальний обсяг реєстрованої інформації становитиме $N_{BIN} = 4000 \cdot 18 = 72000$ байт.

Тобто пропускна спроможність каналу запису інформації у вихідному (двійковому) поданні має бути $\geq$ за вищевказану цифру.

Для більш зручної обробки зареєстрованої інформації, бажано зберегти відліки даних у текстовому поданні (txt -файлі). Тоді пропускна спроможність/об'єм інформації за сек. збільшиться не більше ніж у 5 разів (з урахуванням 12-розрядного АЦП довжина текстового подання його результату становитиме максимум 4 байти (наприклад, двійковий код 4000 матиме текстове подання у вигляді 4-х символів «4», «0», «0», «0» + 1 байт на символ роздільник стовпців/рядків).

Таким чином, пропускна спроможність каналу запису для текстового формату складе $N_{TXT} < 5 \cdot N_{BIN} = 360\,000$ байт/с. Сумарний обсяг записаної (див. формулу 2.1) інформації $V = 360\,000 \cdot 30 = 10\,800\,000$ байт ≈ 10 МБайт.

Базуючись на виконаних оцінках, можна вибрати SD- карту класу « Speed Class 2».

Висновки до розділу 2

У другому розділі наведено докладний опис усіх давачів, які матиме система, що розробляється. Також представлено описи МК, інтерфейсу SPI та ФС FAT.

Розроблено та наведено структурну схему системи збору телеметричної інформації. Описано та показано під'єднання всіх раніше вибраних давачів.

Здійснена оцінка потрібної ємності накопичувача даних і пропускної спроможності каналу запису даних.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

3.1. Розробка вбудованого ПЗ мікроконтролера

Функціонування пристроїв з МК забезпечується ПЗ МК, що вбудовується, котре є набором машинних кодів, відповідних арифметичних, логічних команд, команд переходу і т.д. Розробка ПЗ складних систем, що вбудовуються, виконується як правило, із застосуванням мов високого рівня класу C/C++, що забезпечують, у тому числі, і абстракцію від конкретної обчислювальної платформи.

Стандартний алгоритм роботи ПЗ МК є блоком (блоками) ініціалізації системи, периферійних пристроїв, змінних та масивів та блоком (блоками) основного циклу програми, що реалізують обчислювальні та логічні алгоритми вирішення поставленого завдання. Залежно від завдання, що реалізується, можуть бути використані механізми переривань, прямого доступу до пам'яті і т.д.

В рамках кваліфікаційної роботи розроблено ПЗ МК STM32F405RGT6 блоку збору та реєстрації телеметричної інформації.

Розробка виконана з використанням наступних програмних та апаратних засобів:

- інтегроване середовище розробки ПЗ МК KEILStudio 5;
- програмне середовище графічного конфігурування системних та периферійних пристроїв МК STM32CubeMX;
- компілятора мови програмування C;
- апаратного програматора-налагоджувача ST-LinkV2.

3.1.1. Задачі і функції ПЗ мікроконтролера блоку збору телеметричної інформації. Завдання, що вирішуються ПЗ МК блоку збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу [14]:

- отримання миттєвих значень від давачів інерційної інформації та

додаткових давачів із пропорційними (аналоговими) та дискретними вихідними сигналами. Процес отримання даних може бути синхронним, тактуватися внутрішніми апаратними засобами МК. Вихідний двійковий код, пропорційний миттєвим значенням сигналів повинен вимірюватися АЦП;

- реєстрація (збереження) на зовнішній енергонезалежний носій вимірюваних сигналів із необхідним темпом надходження даних сигналів. Кожен відлік даних має бути забезпечений номером відліку або тимчасовою міткою моменту отримання даних від давачів;

- забезпечення інформаційного обміну (у разі потреби) із системою вищого рівня. Цей опціональний інформаційний обмін повинен забезпечувати конфігурацію часової діаграми системи.

Бортове ПЗ блоку збору телеметричної інформації виконує такі функції:

- ініціалізацію МК, у тому числі його вбудованих периферійних модулів (модуля таймера, модуля АЦП, портів введення-виведення, модуля інтерфейсу SPI, модуля інтерфейсу USART) після ввімкнення живлення обчислювального блоку;

- перевірка функціонування внутрішніх периферійних модулів;
- ініціалізацію внутрішнього накопичувача інформації (SD-картки) та підготовку до початку запису інформації;
- збір та первинну обробку інформації;
- запис отриманої/обробленої інформації на накопичувач інформації.

Діаграму роботи МК блоку збору телеметричної інформації можна подати у такому вигляді (рис. 3.1):

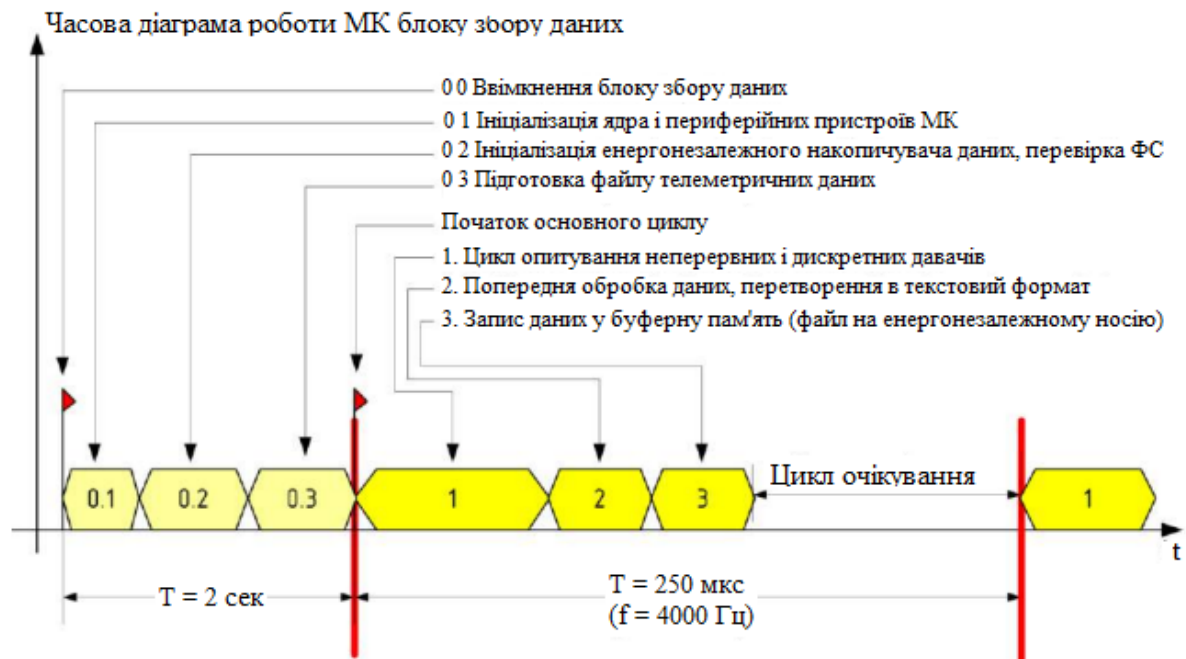


Рис. 3.1. Часова діаграма функціонування МК блоку збору даних

На рис. 3.2 наведено узагальнену блок-схему роботи МК.

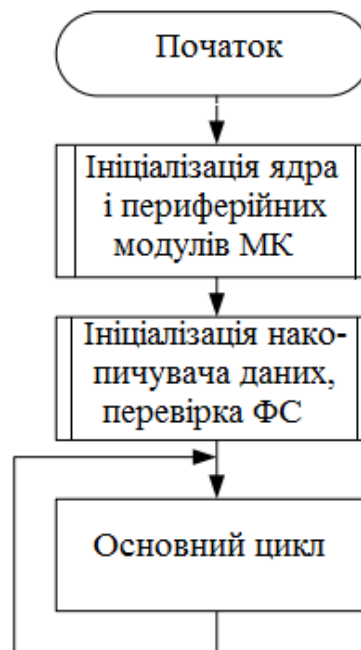


Рис. 3.2. Узагальнена блок-схема алгоритму роботи МК

На рис. 3.3 наведено блок-схему основного циклу роботи МК.

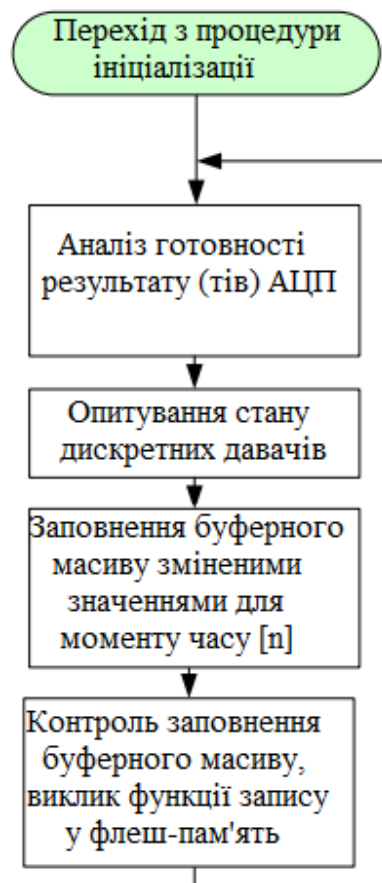


Рис. 3.3. Блок-схема основного циклу роботи МК

3.1.2. Алгоритм опитування миттєвих значень аналогових та дискретних давачів. Опитування аналогових і дискретних каналів давачів виконується так: при запуску основного циклу роботи МК з періодом 2 мкс виконуються переривання від таймера Timer1. У процедурі обробки переривання виконується інкремент змінної, що зберігає номер необхідного каналу АЦП для запуску перетворення, конфігурування регістра номера каналу АЦП, здійснюється запуск перетворення. На наступному циклі (перериванні) виконується зчитування результату АЦП, його збереження в масив та підготовка до опитування наступного каналу АЦП. Після закінчення опитування всіх необхідних каналів АЦП виконується одномоментне зчитування стану дискретних давачів (під'єднаних до портів PC0-PC13). Вибір періоду опитування (перемикання каналів) в 2 мкс визначається необхідністю якомога більш синхронного опитування всіх аналогових каналів, що при єдиному АЦП неможливо і вимагає

аналогового мультиплексування (перемикання), при цьому за 2 мкс АЦП встигає виконати перетворення одного каналу. Блок-схема алгоритму опитування аналогових та дискретних каналів наведено на рис. 3.4.

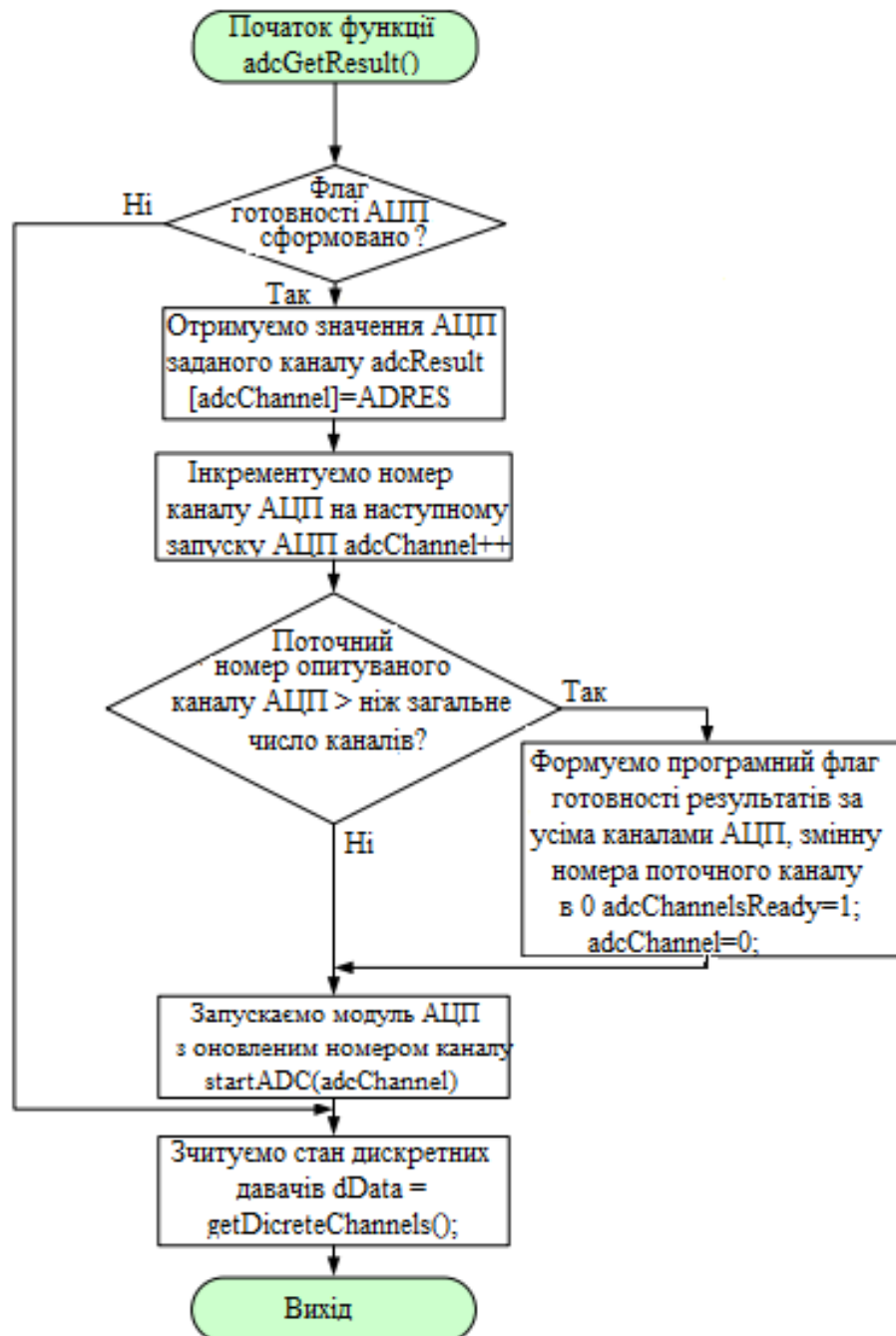


Рис. 3.4. Блок-схема алгоритму опитування аналогових та дискретних каналів

3.1.3. Алгоритм формування текстового подання оцифрованих даних. З метою забезпечення візуального контролю коректності даних під час

попереднього аналізу, а також спрощення імпорту зареєстрованої телеметричної інформації до пакетів обробки даних (Excel, MATLAB, R) для зберігання інформації вибрано текстовий формат запису даних на незалежний носій даних. У цьому реєструються вихідні отримані дані, для АЦП - невідмасштабовані цілочисельні значення. Подальші процедури обробки виконуються зовнішнім ПЗ у режимі відкладеного доступу.

Існують різні способи перетворення цілих даних з байтового подання в текстовий формат. Найбільш простий алгоритм - перетворення тетрад (напівбайтів) на шістнадцяткову цифру. Однак шістнадцяткове подання не зовсім зручне для імпорту даних і ненаочне для інженера-аналітика.

З урахуванням можливості використання стандартних бібліотек мови програмування C/C++ як найбільш оптимальний варіант вибрано використання зв'язки універсальних функцій printf/sprintf.

В алгоритмі функціонування перетворення виконується наступним рядком у вихідному коді (рис. 3.5):

```
sprintf(buf, "%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d\n\r",
recCount,
adcData[0],adcData[1],adcData[2],adcData[3],
adcData[4],adcData[5], adcData[6], adcData[7],
digSensors);
```

Рис. 3.5. Лістинг коду роботи перетворення

В табл. 3.1 наведено пояснення кожного елемента цього коду.

Необхідно зауважити, що інформація про стан дискретних давачів зберігається в одній 16-розрядній цілісній змінній та в такому вигляді (у вигляді рядкового подання цілого числа від 0 до 65535) зберігаються в буфері (і далі у файлі).

Пояснення для кожного елемента коду

Елемент коду	Пояснення
buf	вихідний масив (сформований рядок)
""%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d""	рядок форматування вхідної інформації у текстове подання
recCount	змінна номеру відліку (семпла) інформації, що реєструється
adcData[x]	елементи масиву оцифрованих значень сигналів аналогових давачів
digSensors	змінна, що зберігає поточне значення дискретних сигналів
\n\r	символи формування нового рядка у текстовому файлі

3.1.4. Алгоритм запису даних на незалежний носій даних (SD- карту, USB - накопичувач). З програмної точки зору, доступ до носія даних (SD -карти) може виконуватися на досить низькому рівні - у вигляді посекторного запису вихідних даних (типові значення розміру сектора даних: 256, 512, 1024 байта). Однак при використанні даних носіїв спільно з комп'ютерними системами зручно здійснювати запис файлової структури даних, з організацією сервісної інформації про файл - записи в таблиці файлів (FAT).

З метою спрощення роботи в такому форматі розроблено низку сервісних бібліотек, для процесорів сімейств STM32 (і не тільки) широко застосовується бібліотека FatFs, що містить великий набір функцій для роботи з ФС.

FatFs є модулем простої ФС FAT, призначеним для маленьких систем, що вбудовуються на МК. У такий спосіб модуль є незалежним повністю від апаратної будови під'єднання будь-якого носія даних до МК та здатен бути легко портований на який -небудь МК та систему.

Можливості FatFS:

- підтримка ФС, сумісної із FAT Windows;
- не залежить від платформи. Легко портується будь-яку архітектуру;

- дуже малі витрати на код та робочу область;
- підтримка Multiple volumes (фізичних дисків та їх розділів);
- підтримка кількох кодових сторінок ANSI/OEM, включаючи DBCS;
- підтримка довгих імен (Long file name, LFN) у кодуванні ANSI/OEM або Unicode;
- підтримка з боку ОС реального часу (RTOS, наприклад, FreeRTOS) та популярних бібліотек (LUFA);
- підтримка кількох розмірів сектора;
- підтримка Read-only (тільки читання), мінімізація API, налаштування буфера I/O тощо;
- низькорівневий код доступу до карти одночасно підтримує картки стандартів SD і SDHC. Насправді, це не зовсім притаманно бібліотеці FatFS, так як рівні доступу до носія пам'яті розділені, але все одно згадати про підтримку SDHC необхідно, тому що це дуже корисна та затребувана можливість.

Алгоритм роботи з незалежним носієм (з урахуванням використання модуля FatFs) побудований наступним чином (розбитий на наступні кроки):

1. Ініціалізація низькорівневого інтерфейсу роботи з незалежним носієм (інтерфейси SPI або USB).
2. Перевірка наявності енергонезалежного носія у слоті.
3. Ініціалізація та перевірка (монтування) ФС на незалежному носії.
4. Формування імені файлу (ім'я + порядковий номер) з телеметричною інформацією, виходячи з таких файлів на енергонезалежному носії.
5. Відкривання файлу на запис.
6. Запис необхідної кількості семплів даних (у стандартній конфігурації – $30 \text{ сек} * 4000 \text{ відліків/сек} = 120\,000 \text{ відліків}$).
7. Закриття файлу.
8. Логічне демонтування ФС та логічне відключення енергонезалежного носія даних (очищення всіх змінних, видалення буферів тощо).

У системі запропоновано використання наступного формату імен файлів: ім'я файлу складається з ключового слова *telemetry*, порядкового тризначного

Алгоритм формування імені файлу наступний:

- ### 3.2. Використання спеціалізованого ПЗ при розробці системи

Для спрощення написання алгоритмів початкової ініціалізації МК STM32 та налагоджувальних плат з їх використанням, виробник МК пропонує ряд утиліт та програмних засобів формування вихідного коду ініціалізації з графічного подання та опціональних графічних налаштувань периферії. Одним з таких інструментальних засобів є програма STM32 CubeMX, яка і використовується під час розробки програмного коду. На рис. 3.6 - 3.7 наведено приклади екранів конфігурування МК- системи у цьому застосунку.

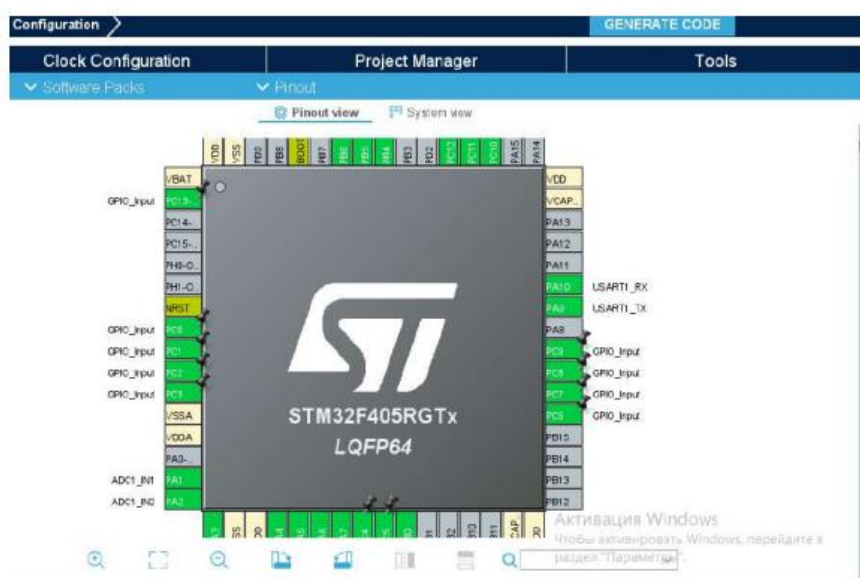


Рис. 3.6. Вікно програми STM32 CubeMX при конфігуруванні виводів МК

3.3. Проведення експериментальних досліджень

У зв'язку з тривалим циклом проектування та виготовлення друкованих плат, розробка та налагодження вбудовуваного ПЗ система збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу виконувалася з використанням налагоджувального обчислювального модуля STM32F401C–DISCO, що виготовляється виробником МК - STMicroelectronics. Зовнішній вигляд модуля представлений на рис. 3.9.



Рис. 3.9. Зовнішній вигляд налагоджувального модуля STM32F401C–DISCO

Модуль має наступні технічні характеристики:

- МК STM32F405RGT6 (256 кБайт флеш-пам'яті програм, 64 кБайту ОЗП);
- вбудований програматор/налагоджувач;
- встановлений на платі мікромеханічний трьохосьовий давач кутової швидкості L3GD20;
- встановлений на платі мікромеханічний трьохосьовий акселерометр;
- встановлений на платі мікромеханічний мікрофон;

- 8 одиничних світлодіодів;
- кнопки;
- інтерфейс USBOTG для під'єднання зовнішніх USB-пристроїв.

Наявність інтерфейсу USBOTG дозволяє використовувати зовнішні USB - накопичувачі даних різної ємності як накопичувач даних системи збору (на етапі налагодження). При цьому програмний інтерфейс доступу до файлів на носії залишається ідентичним як USB-накопичувачів даних, так і для накопичувачів формату SD-card (microSD-card).

На етапі розробки та налагодження вбудованого ПЗ сформовано формат зберігання даних безпосередньо в файлі, що записується, а також структура зберігання файлів на носії.

Визначено наступний формат: при кожному новому увімкненні в кореневому розділі носія даних створюється файл з ім'ям у наступному форматі: telemeryXXX.dat, де XXX - тризначний порядковий номер файлу в десятковому поданні. За цією угодою на носії даних може зберігатися до 1000 індивідуальних файлів (що загалом не завжди потрібно).

Внутрішня структура файлу, як було описано в підрозділі 3.1, є текстовими рядками даних з роздільниками полів - символом коми. Кожне поле є записом цілого знакового числа в десятковій системі числення. Рядок закінчується символами перекладу рядка (шістнадцятковий код 0x10) та повернення до початку рядка (шістнадцятковий код 0x13).

Алгоритм подальшої обробки телеметричної інформації наступний:

1. Зчитування текстового файлу ПЗ обробки телеметричної інформації (читання виконується по рядках, або повністю файлом залежно від обсягу інформації та ресурсів обчислювальних засобів).

2. Перетворення даних з текстового формату на цілий. Отримання попереднього масиву даних обробки.

3. Перетворення цілих даних у формат фізичної величини з урахуванням масштабного коефіцієнта АЦП (вольт/одинаця молодшого розряду), масштабного коефіцієнта давача (кутові градуси (радіани)/вольт, лінійне прискорення м/с²

/ВОЛЬТ)

4. Для давачів дискретних величин - визначення моментів часу (номерів записів у файлі), що відповідає зміні стану.

5. Виділення попередніх статистичних даних щодо кожного давача (пікові значення кутової швидкості, лінійного прискорення).

6. Виконує детальний аналіз часових діаграм сигналів по кожному давачу (наприклад, виділення зон з тривалим обертанням КАС, визначення моменту виходу зі ствола за характерними змінами акселерометрів).

7. У ряді випадків, на етапі попередніх випробувань, може знадобитися оцінка дрейфу та випадкових складових у вихідному сигналі того чи іншого давача. У цьому випадку може знадобитися виявлення трендів у сигналі.

На етапі підготовки роботи для виконання попередньої обробки даних обраний пункт 7 з наведеного вище списку як досить легко реалізований в умовах лабораторних випробувань.

Для цього в математичному пакеті MATLAB підготовлено скрипт (Додаток Б) попереднього аналізу даних, що виконує обробку вхідного масиву даних в частині виділення лінійного тренду сигналу (оцінки його параметрів), видалення даного тренду із сигналу і далі оцінки пікових значень сигналу, математичного сподівання і середньоквадратичного відхилення .

Результати роботи даного скрипта з прикладу випадково згенерованого сигналу наведено на рис. 3.10 - 3.12.

На рис. 3.10 наведено вихідний сигнал давача кутової швидкості, що знаходиться в нерухомому положенні, з наявністю в цьому сигналі випадкової складової та дрейфу. В результаті роботи скрипта обчислюються параметри лінійної складової дрейфу цього сигналу.

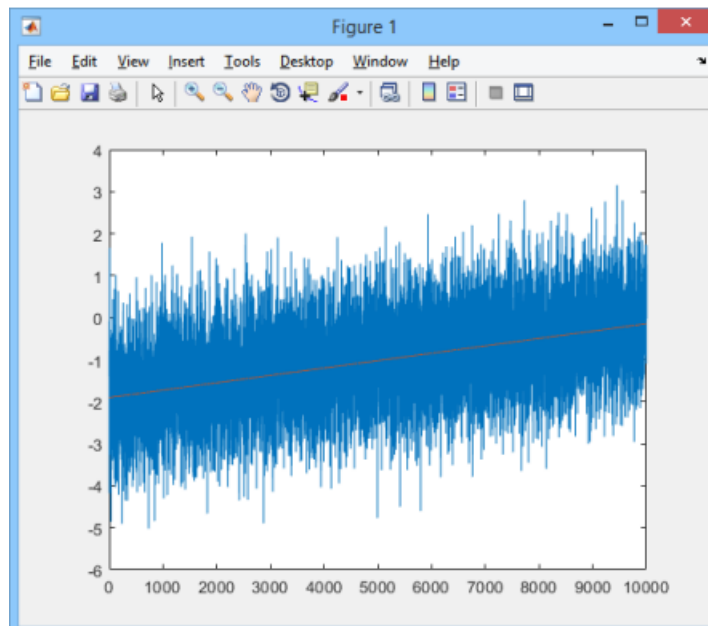


Рис. 3.10. Графік вихідного сигналу датчика кутової швидкості з наявністю в сигналі випадкової складової та дрейфу

На рис. 3.10 за результатами даного алгоритму побудовано пряму лінію дрейфу сигналу (виділено червоним кольором).

На рис. 3.11 наведено графік вихідного сигналу зі скомпенсованим (вирахуваним) дрейфом.

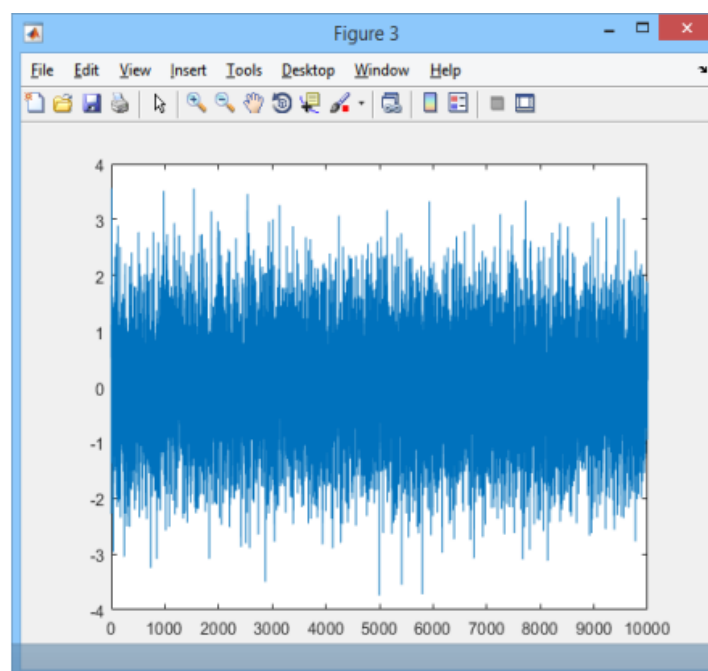


Рис. 3.11. Графік сигналу з компенсацією обчисленого на попередньому кроці дрейфу

На рис. 3.12 наведено графік функції розподілу випадкової складової у вихідному сигналі давача.

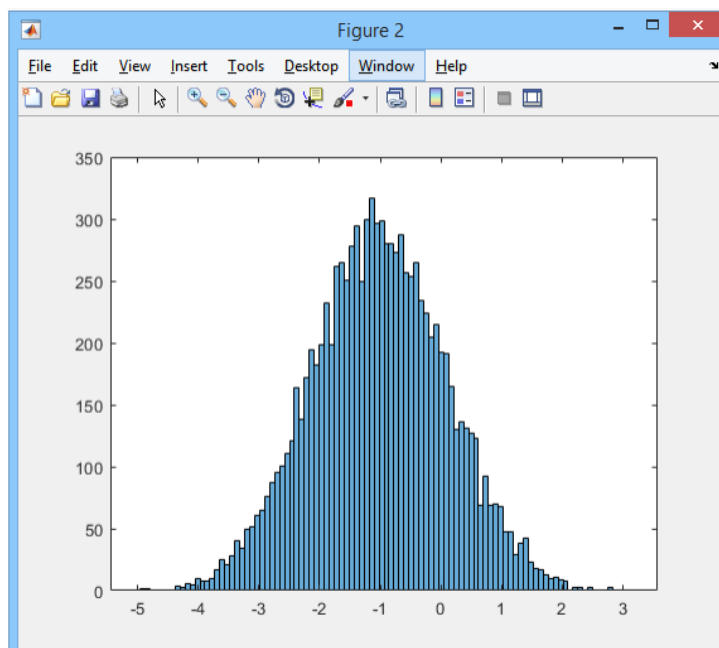


Рис. 3.12. Графік функції розподілу випадкової складової у вихідному сигналі зі скомпенсованим дрейфом

З цього графіка можна зробити попередній висновок, що характер розподілу випадкової величини близький до нормального (гаусівського) розподілу

Висновки до розділу 3

У цьому розділі було описано особливості процесу розробки ПЗ та проведення експериментальних досліджень створеної системи.

Наведені задачі і функції ПЗ, розроблено основні алгоритми функціонування складових частин системи. Описано процес використання прикладного ПЗ при розробці системи.

Здійснено тестування і налагодження вузлів системи із використанням плати-налагоджувача. Отримано оцінки дрейфу і випадкових складових у вихідному сигналі давача.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Метою кваліфікаційної роботи магістра є проектування та реалізація системи збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу із можливістю запису даних у файл у текстовому вигляді. Оскільки, проведення такого роду робіт передбачає застосування комп'ютерної техніки, зокрема ПК та периферійних пристроїв, то обов'язковим є дотримання вимог з охорони праці і техніки безпеки.

Для ефективної і безпечної роботи працівників із розробки системи збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу із можливістю запису даних у файл у текстовому вигляді, необхідно організувати безпечні умови праці. При цьому керівник організації несе безпосередню відповідальність за порушення нормативно-правових актів з охорони праці [28]. Окрім цього, на робочих місцях працівників необхідно забезпечити дотримання вимог, затверджених Наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 за № 207 «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями». Згідно Вимог приміщення, де розміщені робочі місця операторів, крім приміщень, у яких розміщені робочі місця операторів великих ЕОМ загального призначення (сервер), мають бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації відповідно до цих вимог;

— переліку однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 22.08.2005 N 161, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 05.09.2005 за N 990/11270 (НАПБ Б.06.004-2005);

– Державних будівельних норм «Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд», затверджених наказом Держбуду України від 28.10.98 N 247 (далі - ДБН В.2.5-56:2014, з димовими пожежними сповіщувачами та переносними вуглекислотними вогнегасниками.

В інших приміщеннях допускається встановлювати теплові пожежні сповіщувачі. Приміщення, де розміщені робочі місця операторів, мають бути оснащені вогнегасниками, кількість яких визначається згідно з вимогами ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників». Загальні технічні вимоги і з урахуванням граничнодопустимих концентрацій вогнегасної рідини відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014. Приміщення, в яких розміщуються робочі місця операторів сервера загального призначення, обладнуються системою автоматичної пожежної сигналізації та засобами пожежогасіння відповідно до вимог ДБН В.2.5-56:2014, НАПБ А.01.001-2014 і вимог нормативно-технічної та експлуатаційної документації виробника. Проходи до засобів пожежогасіння мають бути вільними.

Лінія електромережі для живлення комп'ютера та периферійних пристроїв повинні бути виконаними як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Не допускається використовувати нульовий робочий провідник як нульовий захисний провідник. Нульовий захисний провідник прокладається від стійки групового розподільного щита, розподільного пункту до розеток електроживлення. Не допускається підключати на щиті до одного контактного затискача нульовий робочий та нульовий захисний провідники.

Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі має бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники мають відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам НПАОП 40.1-1.01-97.

У приміщенні, де одночасно експлуатуються понад п'ять комп'ютерів, на помітному, доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення. Комп'ютери повинні підключатися до електромережі тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення.

У штепсельних з'єднаннях та електророзетках, крім контактів фазового та нульового робочого провідників, мають бути спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Їхня конструкція має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше, ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Не допускається підключати комп'ютери до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення комп'ютерної техніки повинні бути виконаними за магістральною схемою, по 3-6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 42 В за своєю конструкцією мають відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В. Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 42 В, мають візуально (за кольором) відрізнятися від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

При підвищенні ефективності розробки системи збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу із можливістю запису даних у файл у текстовому вигляді, важливим, з точки зору охорони праці, є забезпечення достатньої величини природного та штучного освітлення, які визначені у НПАОП 0.00-7.15-18. Організація робочого місця фахівця із проектування та реалізації системи збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу із можливістю запису даних у файл у текстовому вигляді повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка.

Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги».

Розміщення принтера або іншого пристрою введення-виведення інформації на робочому місці має забезпечувати добру видимість екрана комп'ютера, зручність ручного керування пристроєм введення-виведення інформації в зоні досяжності моторного поля.

Таким чином, у результаті аналізу вимог щодо охорони праці користувачів комп'ютерів, визначено особливості організації робочих місць, вимог з електробезпеки, природного та штучного освітлення для ефективної і безпечної роботи фахівців з проектування та реалізації системи збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу із можливістю запису даних у файл у текстовому вигляді.

4.2. Комп'ютерне забезпечення процесу оцінки радіаційної та хімічної обстановки

Екологічне співтовариство розробило сімейство інструментів комплексної екологічної оцінки. ПЗ і послуги (ESS), комерційна група IIASA, включаючи AirWare (для повітряних проблеми якості), WaterWare (для якості води), CityWare (якість повітря і води в контексті великих міст) і EIAxpert (для надання допомоги із загальним впливом на навколишнє середовище). Функціональність в цілому схожа на RAISON, хоча з великим акцентом на моделювання і меншим акцентом на керування даними. Знову ж таки, інструменти ESS розроблені як модульні набори інструментів (доступні спеціальні системи для вирішення конкретних завдань). Компоненти включають стандартні імітаційні моделі, включаючи моделі ISC і PBM Агентства з охорони навколишнього середовища США, управління даними, в тому числі ГІС, аналіз даних (наприклад, аналіз часових рядів даних спостережень), візуалізація, а також оптимізація [29].

Іноді немає готових моделей, придатних для конкретного застосування, але тягар розробки нової програми на Фортрані або С / С ++ є надмірним. Розробка

моделі оточення може відносно легко реалізувати власні моделі комп'ютерів і не турбуватися про включення процедур для вирішення рівнянь, візуалізації і т. д. Як правило, за допомогою цих інструментів користувач просто повинен вказати свою модель, використовуючи або математичні рівняння, або спеціальні графічні символи або значки, які безпосередньо представляють поведінку системи.

На даний момент є розроблені моделі комп'ютерного забезпечення процесу для оцінки радіаційної та хімічної обстановки.

GEMS – це система на основі моделей, яка підтримує оцінки схильності і ризику, надаючи доступ до одиночних і мультимедійних моделям експозиції, фізико-хімічні властивості методи оцінки, статистичний аналіз, графічні та картографічні програми з відповідними даними на навколишнє середовище, джерела, рецептори і популяції. У розробці з 1981 року, GEMS надає аналітикам 84 84 інтерактивний, легко досліджуваний інтерфейс для різних моделей, програм і даних, які необхідні для оцінки хімічного впливу і ризику [29].

HSPF – це комплексний пакет для моделювання кількості і якості стоків з багатоцільових водозборів і процесів радіації, що відбуваються в потоках або повністю змішаних озерах. Це дозволяє інтегроване моделювання землі і ґрунту, процесів забруднення при гідравлічній і осадово-хімічній взаємодії. Результатом моделювання є тимчасові дані витрати стоку, концентрація поживних речовин і пестицидів, а також дані кількості і якості води в будь-якій точці водозбору. Алгоритми якості води включають динаміку BOD / DO, вуглець, азот і фосфор. Процеси трансформації, які включені в модель це: гідроліз, фотоліз, окислення, випаровування, сорбція і біодеградація. Вторинні або «дочірні» хімічні речовини також моделюються.

Вимоги до даних для моделі можуть бути досить широкими в залежності від конкретного застосування.

Модель MMSOILS – це методологія оцінки впливу на людину і ризику для здоров'я, пов'язаних з викидами забруднень з небезпечних відходів. Мультимедійна модель, що стосується перенесення хімічної речовини в ґрунтові води, поверхневі води, атмосферу і накопичення в їжі. Шляхи впливу на людину,

які розглянуті в методології включають: потрапляння в ґрунт, вдихання летких речовин в повітря і тверді частинки, шкірний контакт, прийом питної води і т.д. Ризик, пов'язаний із загальною дозою опромінення, розраховується на основі хімічної токсичності [29].

Висновки до розділу 4

В цьому розділі проаналізовано важливі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, висвітлено питання комп'ютерного забезпечення процесу оцінки радіаційної та хімічної обстановки.

ВИСНОВКИ

За час виконання роботи отримано наступні результати:

- вивчено будову і конструктивні елементи управління КАС, досліджено його організацію випробувань;
- визначено основні апаратні елементи розроблюваної системи керування, ними є: давачі і МК;
- досліджено основні похибки ЧЕ, котрі мають місце у задачах телеметрії рухомих об'єктів.
- виконано докладний опис усіх елементів, в т.ч. давачів (аналогових та цифрових), котрі входять до складу систем;
- створено структурну схему системи збору телеметричної інформації із відображенням під'єднання усіх вибраних давачів;
- розрахована оцінка необхідної ємності накопичувача даних та пропускної здатності каналу;
- представлені задачі і функції розробленого ПЗ;
- розроблено ключові алгоритми роботи системи.;
- для макетного тестування і експериментального налагодження вузлів системи застосовано спеціалізовані пакети прикладних програм та плату-налагоджувача;
- одержано оцінку дрейфу та ймовірнісних складових для вихідного сигналу давача.

Таким чином, мету виконання кваліфікаційної роботи досягнуто, а всі задачі, які ставилися перед виконанням, успішно вирішено.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Missile Telemetries. URL: <https://www.intracomdefense.com/customized-defense-electronics/missile-telemetries> (дата звернення: 27.11.2025).
2. Керовані снаряди гармат. URL: <https://bk155.com.ua/guided-smart-projectiles/> (дата звернення: 27.11.2025).
3. Лавренова Д.Л., Хлистов В.М. Основи метрології та електричних вимірювань. К.: НТУУ «КПІ», 2016. 123 с.
4. Технічний опис ADXL322. URL: <https://www.analog.com/en/products/adxl322.html> (дата звернення: 30.11.2025).
5. Технічний опис ADXRS652. URL: <https://www.analog.com/en/products/ADXRS652.html> (дата звернення: 30.11.2025).
6. Технічний опис ADXRS649. URL: <https://www.analog.com/en/products/ADXRS649.html> (дата звернення: 30.11.2025).
7. Технічний опис MMA6231. URL: [https://www.yic-electronics.com/pdf/Freescale-Semiconductor,Inc.\(NXP-Semiconductors\)/MMA6231Q.html](https://www.yic-electronics.com/pdf/Freescale-Semiconductor,Inc.(NXP-Semiconductors)/MMA6231Q.html) (дата звернення: 30.11.2025).
8. Технічний опис STM32F405RGT6. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/519411/STMICROELECTRONICS/STM32F405RGT6.html> (дата звернення: 27.11.2025).
9. SPI інтерфейс. URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/spi.html> (дата звернення: 02.12.2025).
10. Що таке файлова система FAT?. URL: <https://www.hdd-tool.com/uk/hdd-basic/what-is-fat-file-system.html> (дата звернення: 03.12.2025).
11. FAT32. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/FAT32> (дата звернення: 03.12.2025).
12. Посібник із класів швидкості для SD та microSD карт пам'яті. URL: <https://www.kingston.com/ua/blog/personal-storage/memory-card-speed-classes> (дата звернення: 04.12.2025).

13. Рихлевич С.В. Розрахунок пропускної здатності каналу запису // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XIII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 грудня 2025 р.) с. 142.
14. Рихлевич С.В., Баран І.О. Завдання і функції програмного забезпечення мікроконтролера блоку збору телеметричної інформації // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XIII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 грудня 2025 р.) с. 143.
15. Рихальський О.Р., Андреев О.В., Топольницький П.П., Пулеко І.В. Радіотелеметричні засоби командно-вимірювальних комплексів: Конспект лекцій- Житомир, 2005. 264с.
16. Кулабухов А.М., Гребенкіна О.А. Принципи побудови космічних апаратів: навчальний електронний посібник. Д.: ДНУ, 2024. 148 с.
17. Denton Tom. Automobile Electrical and Electronic Systems: Automotive Technology : Vehicle Maintenance and Repair. Great Britain, Routledge, 2012. 703 p.
18. Kulkarni, P. D. AUTOMOTIVE ELECTRICAL AND ELECTRONIC SYSTEMS (22651). India, Nirali Prakashan, 2020. 174 p.
19. Smith, J., & Johnson, A. "Advancements in Telemetry Systems for Material Research." Journal of Materials Science, 45(3), 215- 230. (2020).
20. Patel, R., & Gupta, S. "Emerging Trends in Telemetry Systems for Materials Characterization." Materials Today: Proceedings, 45(2), 301-315. (2021).
21. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Програма та методичні рекомендації з проходження практики за тематикою кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль. ТНТУ. 2024. 45 с.
22. Луцик Н. С., Луцків А. М., Осухівська Г. М., Тиш Є. В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль. ТНТУ. 2024. 44 с.

23. Варавін А.В., Лецишин Ю.З., Чайковський А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Дослідження і проєктування комп'ютерних систем та мереж» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль. ТНТУ, 2024. 32 с.
24. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
25. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с..
26. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.
27. Лупенко С. А., Пасічник В. В., Тиш Є. В. Комп'ютерна логіка. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006». 2015. 354 с.
28. Рихлевич С.В. Розрахунок пропускної здатності каналу запису // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XIII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 грудня 2025 р.) с. 118.
29. Рихлевич С.В. Завдання і функції програмного забезпечення мікроконтролера блоку збору телеметричної інформації // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XIII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 грудня 2025 р.) с. 119.
30. Заїкіна Д., Глива В. Основи охорони праці та безпека життєдіяльності. 2019. URL: <https://doi.org/10.31435/rsglobal/001> (дата звернення: 10.12.2025).
31. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

ДОДАТОК А
Тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МАТЕРІАЛИ

ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



17-18 грудня 2025 року

ТЕРНОПІЛЬ
2025

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ М'ЯЗОВОЇ АКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ MQTT-ТЕХНОЛОГІЙ	
Н. Osukhivska, A. Korytko, A. Palamar	
HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM FOR REMOTE MONITORING OF MUSCLE ACTIVITY USING MQTT TECHNOLOGIES	
А. Павлик, А. Паламар	
ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТА КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ СОЛЯНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ	
A. Pavlyk, A. Palamar	
INFORMATION MODEL AND CYBER-PHYSICAL ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR A SMART-HOME SOLAR POWER PLANT	136
А. Паламар, Я. Сиротинський, М. Франків	
ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО ЗБОРУ ДАНИХ ПРО ШВИДКІСТЬ ВІТРУ	
A. Palamar, Y. Syrotynskyi, M. Frankiv	
APPLICATION OF MICROCONTROLLER TECHNOLOGIES FOR REMOTE COLLECTION OF WIND SPEED DATA	137
Б. Переймибіда	
МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ КАБЕЛЮ ТА МІСЦЯ ЙОГО ОБРИВУ	
B. Pereimybid	
METHODS FOR DETERMINING CABLE LENGTH AND LOCATION OF ITS BREAKAGE	138
Б. Переймибіда	
АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ ТА ПОШУКУ МІСЦЯ ОБРИВУ НА ОСНОВІ ЄМНІСНОГО МЕТОДУ	
B. Pereimybid	
ALGORITHM FOR DETERMINING THE LENGTH OF A CABLE LINE AND SEARCHING FOR THE BREAK POINT BASED ON THE CAPACITIVE METHOD	139
М. Протишин, С. Кириченко, В. Дозорський, Л. Дедів, О. Дозорська	
СПОСІБ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО СЕНСОРА ДЛЯ СИСТЕМИ ТАТКИЛЬНОГО ЗВОРОТНЬОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРОТЕЗА РУКИ	
M. Protsyshyn, Ye. Kyrychenko, V. Dozorskyi, L. Dediv, O. Dozorska	
THE METHOD OF PIEZOELECTRIC SENSOR SIGNALS PROCESSING FOR A TACTILE FEEDBACK SYSTEM OF A HAND PROSTHESIS	140
С. Рихлевич	
РОЗРАХУНОК ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КАНАЛУ ЗАПИСУ	
S. Rykhlevych	
CALCULATION OF RECORDING CHANNEL BANDWIDTH	141
С. Рихлевич, І. Баран	
ЗАВДАННЯ І ФУНКЦІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА БЛОКУ ЗБОРУ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	
S. Rykhlevych, I. Baran	
TASKS AND FUNCTIONS OF THE MICROCONTROLLER SOFTWARE OF THE TELEMETRIC INFORMATION COLLECTION UNIT	142
І. Рій, С. Тшш	
МЕТОДИ ПОБУДОВИ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХАОТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ШИФРУВАННЯ ДЛЯ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ	
I. Rii, Ie. Tysh	
METHODS FOR CONSTRUCTING AND COMPARATIVE ANALYSIS OF CHAOTIC ENCRYPTION ALGORITHMS FOR MODERN COMPUTERIZED	143

УДК 621.39

С. Рихлевич

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

РОЗРАХУНОК ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КАНАЛУ ЗАПИСУ

UDC 621.39

S. Rykhlevych

CALCULATION OF RECORDING CHANNEL BANDWIDTH

Пропускна здатність каналу – це максимальна швидкість передачі інформації. Пропускна здатність каналу дорівнює кількості інформації, яка може передаватися за ним за одиницю часу. Обсяг переданої інформації V обчислюється за такою формулою:

$$V = qt, \quad (1)$$

де q – пропускна здатність каналу (у бітах в секунду або подібних одиницях);
 t – час передачі. Зазвичай пропускна здатність вимірюється в бітах в секунду (біт/с) та кратних одиницях Кбіт/с та Мбіт/с.

Розрахунок виконаємо виходячи з наступних вихідних даних:

- необхідна (задана) частота опитування – 4000 Гц;
- кількість аналогових вимірювальних каналів – 8;
- кількість дискретних вимірювальних каналів – 13;
- розрядність аналого-цифрового перетворювача (АЦП) – 12 біт.

Для зберігання результату АЦП по одному (довільному) аналоговому каналу потрібно 16 біт (2 байти) через байтову (кратну 8) організацію пам'яті. З кількості аналогових каналів за одне опитування АЦП потрібно записати 16 байт. Для зберігання стану одного дискретного каналу (має стан «так/ні», «замкнуто/розімкнуто») достатньо одного біта інформації. Тобто 13 дискретних каналів можна розмістити («упакувати») на 2 байти (16 біт). Таким чином, за один цикл опитування отримуємо 18 байт інформації.

За одну секунду загальний обсяг реєстрованої інформації становитиме $N_{BIN} = 4000 \cdot 18 = 72000$ байт.

Тобто пропускна здатність каналу запису інформації у вихідному (двійковому) поданні повинна бути не меншою за вищевказану цифру.

Для більш зручної обробки зареєстрованої інформації, бажано зберегти відліки даних у текстовому поданні (txt -файлі). Тоді пропускна здатність/об'єму інформації за секунду збільшиться не більше ніж у 5 разів (з урахуванням 12-розрядного АЦП довжина текстового подання його результату становитиме максимум 4 байти (наприклад, двійковий код 4000 матиме текстове подання у вигляді 4-х символів «4», «0», «0», «0») + 1 байт на символ роздільник стовпців/рядків).

Таким чином, пропускна здатність каналу запису для текстового формату складе $N_{TXT} < 5 \cdot N_{BIN} = 360\,000$ байт/с.

Сумарний обсяг записаної (див. формулу 1) інформації $V = 360\,000 \cdot 30 = 10\,800\,000$ байт ≈ 10 МБайт.

Базуючись на виконаних оцінках, для зберігання такого обсягу даних можна вибрати SD-карту класу «Speed Class 2» [1].

Література

1. Посібник із класів швидкості для SD та microSD карт пам'яті. URL: <https://www.kingston.com/ua/blog/personal-storage/memory-card-speed-classes> (дата звернення: 04.12.2025)

УДК 004.43

С. Рихлевич; І. Баран, к. т. н., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ЗАВДАННЯ І ФУНКЦІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА БЛОКУ ЗБОРУ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

UDC 004.43

S. Rykhlevych; I. Baran, Ph.D., Assoc. Prof.

TASKS AND FUNCTIONS OF THE MICROCONTROLLER SOFTWARE OF THE TELEMETRIC INFORMATION COLLECTION UNIT

Завдання, що вирішуються програмним забезпеченням (ПЗ) мікроконтролера (МК) блоку збору телеметричної інформації та параметрів руху маневруючого виробу:

- отримання миттєвих значень від датчиків інерційної інформації та додаткових датчиків із пропорційними (аналоговими) та дискретними вихідними сигналами. Процес отримання даних може бути синхронним, тактуватися внутрішніми апаратними засобами МК. Вихідний двійковий код, пропорційний миттєвим значенням сигналів повинен вимірюватися аналого-цифровому перетворювачу (АЦП);

- реєстрація (збереження) на зовнішній енергонезалежний носій вимірюваних сигналів із необхідним темпом надходження даних сигналів. Кожен відлік даних має бути забезпечений номером відліку або тимчасовою міткою моменту отримання даних від датчиків;

- забезпечення інформаційного обміну (у разі потреби) із системою вищого рівня. Цей опціональний інформаційний обмін повинен забезпечувати конфігурацію часової діаграми системи.

Бортове ПЗ блоку збору телеметричної інформації виконує такі функції:

- ініціалізацію МК, у тому числі його вбудованих периферійних модулів (модуля таймера, модуля АЦП, портів введення-виведення, модуля інтерфейсу SPI, модуля інтерфейсу USART) після ввімкнення живлення обчислювального блоку;

- перевірка функціонування внутрішніх периферійних модулів;

- ініціалізацію внутрішнього накопичувача інформації (SD-картки) та підготовку до початку запису інформації;

- збір та первинну обробку інформації;

- запис отриманої/обробленої інформації на накопичувач інформації

Діаграму роботи МК блоку збору телеметричної інформації можна подати у такому вигляді (рис. 1):



Рисунок 1. Часова діаграма функціонування МК блоку збору даних

ДОДАТОК Б

Скрипт обробки даних із файлу даних у текстовому форматі

```
% скрипт обробки даних із файлу даних у текстовому форматі
(стовпець 1 - номер % відліку, стовпець 2 - значення каналу)

% викликаємо вікно вибору файлу [file, path] = uigetfile('*.dat')

% в консоль виводимо повний шлях/ім'я вибраного файлу disp([User
selected fullfile(path,file)]);

% зчитуємо вміст обраного файлу в workspace -змінну data
data = load(fullfile(path,file),'-ascii')

% виділяємо для стовпця номера відліку (стовпець 1) та
% значення сигналу давача (стовпець 2)
x = data(:,1) y = data(:,2)

% виводимо їх на графік
figure
plot(x,y)

% із зашумленого сигналу вбудованою функцією MATLAB fit
% виділяємо параметри лінійного тренду (дрейфу) нульового сигналу
% у вихідній змінній d будуть міститися 2 коефіцієнти

d = fit (x, y, 'poly1');          % 'poly1' - лінійна інтерполяція

% виводимо на графік пряму, отриману в результаті інтерполяції
hold on
plot(x, d(x));

% додаємо графік функції густини розподілу з розбивкою на 100
% діапазонів
figure
histogram(y,100);
```

```

% для подальшої оцінки пікових значень (мінімуму, максимуму) та
% середньоквадратичного відхилення з вихідного сигналу %
віднімаємо оцінку лінійного тренду
y1 = y-d(x)

figure
plot(x, y1)

disp(['Максимальне значення випадкової складової сигналу =
',num2str(max(y1))]);
disp(['Мінімальне значення випадкової складової сигналу =
',num2str(min(y1))]);
disp(['Середньоквадратичне відхилення сигналу від мат. сподівання
= ',num2str(std(y1))]);

```