

РІВНЕНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет математики та інформатики
Кафедра цифрових технологій та методики навчання інформатики

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри ЦТ та МНІ
_____ Наталія ПАВЛОВА
«_____» _____ 2025 р.
протокол № _____

РИБАЛКО АНДРІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**МЕТОДИКА НАВЧАННЯ РОЗРОБЦІ ЗАСОБІВ
РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ І
ПЕРЕХОПЛЕННЯ ВІДЕОСИГНАЛІВ БЕЗПЛОТНИХ СИСТЕМ У
ЗАКЛАДАХ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ**

Виконав:

здобувач другого (магістерського)
рівня вищої освіти спеціальності
015.39 Професійна освіта (Цифрові
технології)
Андрій РИБАЛКО

Науковий керівник:

кандидат педагогічних наук
Тетяна ШРОЛЬ

Рівне – 2025

АНОТАЦІЯ

Рибалко А. А. Методика навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем у закладах фахової передвищої освіти. – Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 015.39 Професійна освіта (Цифрові технології). – Рівненський державний гуманітарний університет. – Рівне, 2025. 108 с.

У кваліфікаційній роботі розкрито теоретичні та методичні аспекти навчання фахівців з інформаційних технологій розробці засобів радіоелектронної розвідки для виявлення та перехоплення відеосигналів безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Розроблено функціональний прототип апаратно-програмного комплексу на базі мікроконтролера STM32 для виявлення та перехоплення відеосигналів БПЛА та створено освітній вебресурс із покроковими інструкціями для його відтворення. Пристрій апробовано військовими у польових умовах.

Обґрунтовано методику впровадження технічного засобу в рамках дисциплін комп'ютерного циклу в закладах фахової передвищої освіти. Визначено зміст, організаційно-методичні підходи й умови, форми та засоби навчання ІТ-фахівців основам радіоелектронної розвідки із врахуванням проєктного навчання. Запропоновано тематику вибіркової освітньої компоненти з вивчення основ розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем та способи інтеграції навчальних тем, змістових модулів у дисципліни комп'ютерного циклу.

Результати дослідження впроваджено у Млинівському технологічно-економічному фахового коледжі та Відокремленому структурному підрозділі «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП» протягом 2024-2025 років у процесі вивчення дисциплін комп'ютерного циклу здобувачами ІТ-спеціальностей.

Ключові слова: радіоелектронна розвідка, безпілотні системи, методика навчання, фахова передвища освіта, ІТ-фахівці, вбудовані системи, STM32, радіомоніторинг, проєктне навчання.

ABSTRACT

Rybalko A. A. Methodology for teaching the development of radio-electronic reconnaissance tools aimed at detecting and intercepting video signals from unmanned systems in higher vocational education institutions. – Qualifying work for obtaining the second (master's) level of higher education in the specialty 015.39 Vocational Education (Digital Technologies). – Rivne State University for the Humanities, Rivne, – Rivne, 2025. 108 p.

The qualification work covers the theoretical and methodological aspects of training IT specialists to develop radio-electronic intelligence tools for the detection and interception of video signals from Unmanned Aerial Vehicles (UAVs).

A functional prototype of a hardware-software system based on the STM32 microcontroller was developed for UAV video signal detection and interception. Additionally, an educational web resource containing step-by-step instructions for reproducing the system was created. The device has been tested by the military in field conditions.

The methodology for implementing this technical tool within computer science disciplines at institutions of professional pre-higher education is substantiated. The content, organizational and methodological approaches, conditions, forms, and tools for training IT specialists in the fundamentals of radio-electronic intelligence, incorporating project-based learning, have been defined. The paper proposes the thematic scope and content modules for an elective educational component on the fundamentals of developing radio-electronic intelligence tools for detecting and intercepting signals from unmanned systems, including methods for their integration into computer science disciplines.

The research results were implemented at the Mlyniv Technological- Economic Professional College and the Separate structural subdivision ‘Rivne Technical Professional College of the National University of Water and Environmental Engineering’ during 2024–2025 within computer science courses for IT students.

Keywords: radio-electronic reconnaissance, unmanned systems, FPV drones, teaching methodology, vocational higher education, embedded systems, STM32, cybersecurity, radio monitoring, project-based learning.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ I ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ НАВЧАННЯ РОЗРОБЦІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ У ФАХОВІЙ ПЕРЕДВИЩІЙ ОСВІТІ.....	11
1.1. Основи радіоелектронної розвідки: поняття, завдання, принципи роботи	11
1.2. Характеристики сигналів безпілотних систем у радіоефірі та методи їх моніторингу	15
1.3. Обґрунтування вимог до підготовки фахівців із розробки засобів радіоелектронної розвідки у фаховій передвищій освіті	26
1.4. Аналіз освітніх програм фахової передвищої освіти для підготовки ІТ- фахівців у сфері протидії безпілотним системам.....	32
РОЗДІЛ II МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ НАВЧАННЯ ПРОЄКТУВАННЮ ТА РОЗРОБЦІ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ І ПЕРЕХОПЛЕННЯ ВІДЕОСИГНАЛІВ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ.....	42
2.1. Зміст та організаційно-методичні засади навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки у закладах фахової передвищої освіти	42
2.2. Реалізація проєктного підходу в процесі розробки апаратної складової засобу радіоелектронної розвідки для виявлення безпілотних систем	55
2.3. Особливості навчання програмуванню алгоритмів цифрової обробки відеосигналів та керування пристроєм	68
РОЗДІЛ III ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ РОЗРОБЦІ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ І ПЕРЕХОПЛЕННЯ ВІДЕОСИГНАЛІВ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ У ЗАКЛАДАХ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ	76
3.1. Апробація результатів дослідження та їх аналіз	76
3.2. Методичні рекомендації щодо використання результатів дослідження в закладах фахової передвищої освіти.....	80
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
ДОДАТКИ.....	90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БПЛА	–	безпілотний літальний апарат
РЕР	–	радіоелектронна розвідка
FPV	–	First Person View (вид від першої особи)
ППРЧ	–	псевдовипадкове перелаштування робочої частоти
ЧМ	–	частотна модуляція
АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач
LoRa	–	Long Range (технологія дальнього зв'язку)
SDR	–	Software Defined Radio (програмно-визначене радіо)
RSSI	–	Received Signal Strength Indicator (індикатор потужності прийнятого сигналу)
ФПО	–	фахова передвища освіта
ЗФПО	–	заклад фахової передвищої освіти

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку технологій безпілотних авіаційних систем та їхнього масового використання у військовій сфері, вкрай гостро постає потреба у підготовці кваліфікованих фахівців, здатних створювати та експлуатувати засоби радіоелектронної розвідки задля виявлення і протидії загрозам що створюють ці системи. Повсюдне поширення безпілотних літальних апаратів створює значні загрози для безпеки та конфіденційності, тому автономне виявлення, моніторинг та ідентифікація БПЛА є надзвичайно важливою операційною функцією сучасних систем захисту (Nemer et al., 2021). Пріоритетним напрямом досліджень виявлення та ідентифікація дронів стали через нагальну потребу гарантування приватності та безпеки життєдіяльності людини. Зокрема, інтегровані системи, що поєднують різні технології детектування, є надзвичайно необхідними для ефективного та точного виявлення безпілотних систем (Fallatah et al., 2025).

Досвід російсько-української війни переконливо демонструє критичну важливість своєчасного виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА), особливо FPV-дронів (First Person View), які активно застосовуються для ведення розвідки, коригування вогню артилерії та завдання прямих ударів. Сучасні передавачі перешкод переважно випромінюють у широкому спектрі для забезпечення перекриття ймовірних робочих частот каналів керування FPV-дронами, проте задача розпізнавання радіосигналів найпоширеніших стандартів зв'язку наразі залишається розв'язаною лише частково (Нагорнюк, 2024). Саме це визначає нагальну потребу в розробці відповідних технічних інструментів та методик підготовки фахівців. FPV-дрони створюють специфічні радіовипромінювання, що дозволяє їх ідентифікувати засобами радіомоніторингу, проте аналіз освітніх програм закладів фахової передвищої освіти свідчить про недостатню репрезентацію дисциплін, які забезпечують формування компетентностей у сфері радіоелектронної розвідки та протидії безпілотним системам. Переважна ж більшість навчальних курсів, на жаль,

ґрунтується на теоретичному викладі без належного забезпечення практичної складової з використанням реальних технічних пристроїв.

Стрімке зростання застосування безпілотних авіаційних систем у різних сферах визначає потребу в підготовці фахівців, здатних працювати з такими системами та протидіяти їм (Li et al., 2021) та відповідно потребує розробки методик їх навчання. Використання пристрою, створеного та випробуваного у реальних умовах за участі військових підрозділів, як навчально-практичного засобу, дозволяє студентам безпосередньо ознайомитися з принципами роботи систем радіоелектронної розвідки, досягнути технічні виклики розробки та набутти практичних навичок програмування мікроконтролерів, обробки радіосигналів й аналізу відеопотоків. Водночас, сучасні наукові дослідження у галузі виявлення безпілотних систем (Nemer et al., 2021; Fallatah et al., 2025; Нагорнюк, 2024) зосереджені на технічних аспектах детектування БПЛА, тоді як педагогічні аспекти підготовки фахівців до розробки таких систем залишаються недостатньо вивченими, що, власне, й окреслює актуальність теми дослідження.

Мета дослідження: спроектувати і розробити апаратно-програмний комплекс радіоелектронної розвідки для виявлення й перехоплення відеосигналів безпілотних систем та обґрунтувати методику його впровадження в рамках дисциплін комп'ютерного циклу в закладах фахової передвищої освіти.

Відповідно до мети, сформульовано такі завдання:

- 1) проаналізувати науково-педагогічні, методичні та технічні джерела з проблеми дослідження;
- 2) визначити сутність поняття радіоелектронної розвідки, її завдання й принципи роботи, дослідити характеристики сигналів безпілотних систем у радіоефірі та методи їхнього моніторингу;
- 3) обґрунтувати вимоги до підготовки фахівців з інформаційних технологій щодо розробки засобів радіоелектронної розвідки у фаховій передвищій освіті та проаналізувати відповідні освітні програми;
- 4) розробити прототип технічного пристрою (апаратно-програмного

комплексу) радіоелектронної розвідки для виявлення та перехоплення відеосигналів БПЛА та відповідний освітній вебресурс, що описує його поетапне створення;

- 5) визначити зміст й організаційно-методичні засади навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки у ЗФПО;
- 6) провести апробацію результатів дослідження, а також розробити методичні рекомендації щодо їх використання для підготовки ІТ-фахівців у ЗФПО.

Об'єкт дослідження – процес підготовки здобувачів фахової передвищої освіти в галузі інформаційних технологій.

Предмет дослідження – методика навчання здобувачів фахової передвищої освіти розробці засобів радіоелектронної розвідки для виявлення та перехоплення відеосигналів безпілотних систем.

Для досягнення мети та завдань дослідження використані такі методи:

- *теоретичні методи*: аналіз наукової-педагогічної, методичної та технічної літератури з проблеми дослідження для визначення стану вивченості теми, з'ясування теоретичних основ радіоелектронної розвідки та особливостей підготовки фахівців у цій галузі; систематизація та узагальнення наукових даних; порівняльний аналіз освітніх програм закладів фахової передвищої освіти; моделювання структури та змісту методики навчання;
- *емпіричні методи*: проєктування та розробка апаратно-програмного комплексу радіоелектронної розвідки; лабораторне тестування та польова апробація розробленого пристрою за участі військових підрозділів; спостереження за навчальною діяльністю студентів під час занять; тестування та опитування для оцінювання рівня сформованості професійних компетентностей здобувачів;

Наукова новизна дослідження визначається тим, що:

- розроблено методику навчання здобувачів фахової передвищої освіти

розробці засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем, що базується на використанні розробленого та апробованого військовими технічного пристрою, як навчально-практичного засобу;

– удосконалено підходи до створення освітнього контенту з дисциплін комп’ютерного циклу та методи організації практичної підготовки майбутніх фахівців з інформаційних технологій через інтеграцію результатів технічної розробки в закладах фахової передвищої освіти.

Практичне значення результатів дослідження полягає в можливості впровадження розробленої методики навчання з розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем та відповідного методико-технологічного забезпечення в освітній процес підготовки фахівців з інформаційних технологій у закладах фахової передвищої освіти. Зокрема, розроблений апаратно-програмний комплекс для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем може бути використаний, як навчально-практичний засіб, що дозволяє здобувачам освіти безпосередньо ознайомитися з принципами дії, алгоритмами виявлення та обробки радіосигналів, методами перехоплення відеопотоків з безпілотних систем.

Основні положення та результати кваліфікаційної роботи стали підґрунтям: 1) для впровадження методико-технологічного забезпечення, зокрема в рамках інтеграції в зміст дисциплін комп’ютерного циклу, в освітній процес підготовки фахівців з інформаційних технологій Млинівського технологіко-економічного фахового коледжу (додаток А) та Відокремленого структурного підрозділу «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП» (додаток Б) протягом 2024-2025 років; 2) для співпраці з військовими підрозділами, які здійснили технічну апробацію пристрою, результати якої використано для вдосконалення його технічних характеристик та адаптації до освітнього процесу в закладах фахової передвищої освіти (додаток В).

Теоретичні результати дослідження були представлені на звітній науково-практичній конференції співробітників, студентів та аспірантів РДГУ, а також на IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Підготовка педагогів до професійної діяльності в умовах змішаного навчання» (м. Рівне, 14-15 травня 2025 р.) та XVIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Інформаційні технології у професійній діяльності» (м. Рівне, 10 листопада 2025 р.) За результатами участі у конференціях опубліковано 2 тез доповідей (Рибалко & Шроль, 2025a), (Рибалко & Шроль, 2025b) та отримано відповідні сертифікати учасника (додаток Г).

Кваліфікаційна робота складається із переліку умовних позначень, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (24 найменування) та 10 додатків. Загальний обсяг роботи – 108 сторінок, основного тексту – 89 сторінок. Робота містить 7 таблиць, 13 рисунків.

РОЗДІЛ І

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ НАВЧАННЯ РОЗРОБЦІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ У ФАХОВІЙ ПЕРЕДВИЩІЙ ОСВІТІ

1.1. Основи радіоелектронної розвідки: поняття, завдання, принципи роботи

З настанням епохи інформаційного суспільства, що прийшла на заміну індустріальній ері, важливість інформації у військовій справі кардинально зросла. Оскільки захист власних цифрових мереж та деструктивний вплив на системи ворога стали наріжним каменем сучасних конфліктів, радіотехнічні війська перетворилися на ключове джерело відомостей про ситуацію на полі бою та в повітрі. Одним з основних способів отримання такої інформації є радіоелектронна розвідка (РЕР), що дозволяє здобути перевагу за допомогою моніторингу та аналізу електромагнітного спектра (Гоков, 2022, с. 83-84).

Згідно визначення, яке наводить О. Гоков в навчальному посібнику «Фізичні основи технічних засобів розвідки»: «Радіоелектронна розвідка (РЕР) – це процес здобування інформації в результаті приймання й аналізу електромагнітних випромінювань (ЕМВ) радіодіапазону, створюваних радіоелектронними засобами (РЕЗ), що працюють.» (Гоков, 2022). Натомість за класифікацією НАТО, радіоелектронна розвідка (англ. Signals intelligence) розглядається дещо ширше, а саме як частина радіоелектронної підтримки (англ. Electronic warfare support), що в свою чергу є частиною радіоелектронної війни (англ. Electronic warfare) (Joint Chiefs of Staff, 2020, с. 21). По суті, це комплекс дій, спрямованих проти систем супротивника чи на захист власних, і має на меті не лише блокування доступу до даних, а й їхнє викривлення. Таке спотворення, зрештою, призводить до хибних рішень ворога, підриваючи довіру до його джерел.

Традиційно вважається, що архітектура радіоелектронної війни складається з трьох складових, кожна з яких виконує унікальні функції в

загальній системі протидії. Першим елементом виступає електронна підтримка (Electronic Support, ES), заходи якої націлені на перехоплення радіовипромінювань ворога задля збору розвідданих, і саме ця компонента фактично ототожнюється з радіоелектронною розвідкою. Другою ланкою є радіоелектронна атака (Electronic Attack, EA), що передбачає застосування електромагнітної енергії для нівелювання бойового потенціалу супротивника, зокрема через створення завад, які паралізують системи зв'язку та радіолокації. В україномовній літературі аналогом радіоелектронної атаки можна вважати радіоелектронну боротьбу. Нарешті, не менш вагомою складовою є радіоелектронний захист (Electronic Protection, EP) – комплекс дій, покликаних забезпечити власні сили від ворожих спроб електронної підтримки та атак (Joint Chiefs of Staff, 2020, с. 21-24).

Системи радіоелектронної розвідки здійснюють цілий комплекс взаємозалежних функцій, покликаних забезпечити командування вичерпною інформацією щодо поточної радіоелектронної обстановки. Безумовно, до найважливіших завдань PER належать:

1. *Пошук, виявлення та перехоплення радіовипромінювань.* Цей початковий етап роботи системи PER полягає у безперервному скануванні радіочастотного спектра задля ідентифікації сигналів, що становлять тактичний чи оперативний інтерес. Сучасні засоби зв'язку і радіолокації, на жаль, нерідко використовують технології, які ускладнюють їхнє виявлення – це так звані низька ймовірність перехоплення та низька ймовірність виявлення. Власне, до таких технологій належать методи розширення спектра, зокрема пряма послідовність (DSSS) та псевдовипадкове перелаштування (FHSS) (Гоков, 2022, с. 134).

2. *Ідентифікація та класифікація виявлених сигналів.* Після успішного виявлення сигналу необхідно визначити його параметри, щоб встановити належність до конкретного типу радіоелектронного засобу. Процес ідентифікації відбувається за допомогою аналізу зовнішніх характеристик сигналу, до яких

належать несуча частота, смуга пропускання, вид модуляції та швидкість передачі даних. Залежно від складності системи РЕР і типу перехопленого сигналу, може здійснюватися аналіз внутрішніх параметрів, наприклад змісту переданого повідомлення, що потребує його попередньої демодуляції та декодування.

3. *Визначення місцеположення джерел випромінювання (геолокація).* Це, безумовно, одне з критично важливих завдань РЕР, оскільки відомості про місцезнаходження ворожих електронних засобів, командних пунктів та техніки є бойовою інформацією, здатною безпосередньо впливати на планування вогневого ураження чи маневру власних сил. Точність геолокації, відтак, має відповідати її призначенню та залежить від конкретної тактичної настанови.

4. *Формування електронної бойової обстановки (Electronic Order of Battle, EOB).* Це завдання являє собою узагальнення та систематизацію всіх зібраних відомостей для побудови цілісної, динамічно оновлюваної картини про склад, дислокацію, технічний стан та ймовірні наміри сил ворога. Таким чином, формування ЕОВ є синтетичним процесом, що поєднує дані про виявлені радіозасоби, їхні характеристики, місцеположення та активність у часі (Joint Chiefs of Staff, 2020, с. 19).

Проведений аналіз наукових та науково-методичних праць (Гоков, 2022; Нагорнюк, 2024) дозволив дійти висновку, що технічне втілення завдань радіоелектронної розвідки ґрунтується на достатньо складних прийомах і методах обробки радіосигналів, які, власне, й формують основу функціонування систем РЕР. На противагу звичайному радіозв'язку, де передавач і приймач «співпрацюють» за узгодженими заздалегідь протоколами, РЕР функціонує у некооперативному режимі. Це означає, що система РЕР позбавлена доступу до протоколів синхронізації чи узгодження каналів комунікаційних систем ворога, через що вона повинна самотужки виявляти, захоплювати та аналізувати сигнали без жодного сприяння з боку їхнього джерела.

Для виявлення сигналів застосовуються високочутливі приймачі, здатні

оперувати у широкому діапазоні частот. Справді, ефективність системи РЕР значною мірою залежить від її спроможності швидко та надійно ідентифікувати слабкі сигнали, попри шум та завади. В системах радіоелектронної розвідки використовуються два основні режими пошуку сигналів:

1. Загальний пошук (General Search). Цей режим полягає у систематичному скануванні заданого діапазону частот із певним кроком, і, по суті, застосовується, коли апріорна інформація про характеристики сигналів супротивника відсутня, а відтак потрібен повний огляд радіоефіру для виявлення будь-якої активності.

2. Спрямований пошук (Directed Search). Він, навпаки, передбачає перевірку заздалегідь відомих або очікуваних частот, де з високою вірогідністю може виникнути активність ворога, тож є значно ефективнішим у випадках наявності попередньої розвідувальної інформації. Вибір між загальним та спрямованим пошуком, таким чином, залежить від конкретної тактичної настанови, наявності вихідних даних та часових лімітів на виявлення цілей.

Для визначення місцеположення джерел випромінювання зазвичай застосовують кілька основних методів пасивної локації, які, проте, вимагають наявності двох або більше просторово рознесених приймальних пунктів. Пасивний характер цих методів, очевидно, забезпечує прихованість системи геолокації та її захист від ворожого виявлення, оскільки вона не випромінює власних сигналів. Триангуляційний або кутомірний метод є першим та найпоширенішим, і базується він на вимірюванні кутових координат (азимута чи пеленга) на джерело випромінювання з двох або більше рознесених у просторі точок. Різницево-далекомірний або гіперболічний метод є другим основним методом геолокації, ґрунтуючись на вимірюванні різниці часу надходження сигналу (Time Difference of Arrival, TDOA) до кількох приймальних пунктів. Фізичною основою цього методу є те, що радіосигнал, поширюючись зі швидкістю світла, обумовлює різницю у часі його надходження до різних приймачів, прямо пропорційну різниці відстаней від джерела до цих приймачів.

Геометричне місце точок з однаковою різницею відстаней до двох приймальних пунктів – це гіпербола, фокусами якої, відповідно, є ці приймачі.

Окремою категорією систем радіоелектронної розвідки є засоби пасивної радіолокації, які, не випромінюючи власних сигналів, лише приймають випромінювання цілей, як-от сигнали бортових радіолокаційних станцій літальних апаратів, систем зв'язку, станцій постановки завад та інших радіоелектронних засобів. По суті, засоби пасивної локації являють собою спеціалізовані системи РЕР, оптимізовані для розв'язання завдання визначення координат повітряних цілей, а їхньою основною перевагою є повна потайність роботи, адже система не демаскує себе власним випромінюванням і не може бути виявлена противником.

Засоби пасивної радіолокації, як не дивно, можуть послуговуватися як триангуляційним, так і різницево-далекомірним методами для встановлення координат повітряних цілей. Вибір конкретного методу, безперечно, залежить від тактичної обстановки, характеристик сигналів цілі, наявного технічного забезпечення та вимог до точності визначення координат, причому у багатьох сучасних системах пасивної радіолокації застосовується комплексування методів, що дозволяє використовувати переваги кожного, нівелюючи їхні недоліки для досягнення високої точності визначення місцеположення повітряних цілей навіть за складних умов радіоелектронної обстановки.

1.2. Характеристики сигналів безпілотних систем у радіоефірі та методи їх моніторингу

Безпілотні авіаційні системи (БАС), інакше відомі, як безпілотні літальні апарати (БПЛА) або дрони, за останнє десятиліття зазнали суттєвої трансформації: із суто військової технології вони перетворилися на повсюдно доступний інструмент для комерційних та цивільних застосувань (Li et al., 2021). Ці апарати використовуються у різноманітних сферах, таких як точне землеробство, моніторинг інфраструктури, доставка вантажів та відеозйомка.

Водночас, зростаюча доступність і універсальність БПЛА зумовили їхнє дедалі ширше застосування у зловмисних, незаконних та військових цілях, що несе значні ризики для безпеки та приватності. Відтак, своєчасне виявлення, ідентифікація та визначення місцеположення БПЛА на основі аналізу їхніх радіосигналів є наріжним завданням, необхідним для гарантування безпеки повітряного простору та ефективної протидії цим загрозам.

Переважна більшість безпілотних систем, виконуючи свої функції, покладається на радіозв'язок між літальним апаратом та наземною станцією керування для передачі команд управління, отримання телеметричних даних та, в багатьох випадках, трансляції відеопотоку в реальному часі. Ці радіовипромінювання, власне, й роблять БПЛА помітними об'єктами в радіоефірі, забезпечуючи можливість їхнього моніторингу. Безпілотна авіаційна система складається із трьох основних компонентів – самого літального апарата, корисного навантаження (сенсорів) та наземної станції керування. Однак, ключовим елементом, що робить БАС об'єктом радіомоніторингу, є радіолінія (канал зв'язку), що забезпечує обмін даними між цими складниками, і саме цей радіозв'язок є головним джерелом випромінювань, що їх можна перехопити та проаналізувати.

Для ефективного моніторингу, звичайно ж, важливо добре орієнтуватися у різноманітті БАС. Їхня класифікація в цивільній і науковій сферах, як правило, успадкована з військової номенклатури та базується на таких критеріях, як розмір, тривалість та висота польоту. У своїй роботі Т. Гуцула, І. Жежери та В. Ткача «Особливості класифікації та методів вибору БпЛА» (Тарас Гуцул та ін., 2023) визначили наступну класифікацію безпілотних авіаційних систем: мікро- та нанолітальні апарати (MAV/NAV); апарати вертикального зльоту та посадки (VTOL); низьковисотні системи малої тривалості (LASE/sUAS); середньовисотні системи великої тривалості (MALE). Вказані системи та їх характеристики представлено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Класифікація безпілотних авіаційних систем за основними
характеристиками

Клас БАС	Маса	Час польоту	Висота	Дальність	Особливості
Мікро- та нанолітальні апарати (MAV/NAV)	Десятки грамів	5–30 хв.	До 330 метрів	Короткі відстані	Завдяки передавачам малої потужності їхнє виявлення на великих відстанях ускладнене; призначені для розвідки у обмеженому просторі.
Апарати вертикального зльоту та посадки (VTOL)	Від кількох сотень грамів	До 1 год.	Різна	Кілька кілометрів	Переважно мультикоптери, що живляться від акумуляторів і, що головне, не потребують злітно-посадкової смуги, а отже, є ідеальними для зависання над ціллю.
Низьковисотні системи малої тривалості (LASE/sUAS)	2–5 кілограмів	1–2 год.	Низька	Кілька кілометрів	Ці апарати, будучи одним із найпоширеніших класів БПЛА, легко розгортаються, а їхній запуск здійснюється з катапульт або вручну.
Середньовисотні системи великої тривалості (MALE)	значна	Багато годин	До 9000 метрів	Сотні кілометрів	Потребуючи потужних каналів зв'язку, ці системи нерідко використовують супутникові технології.
Високівисотні системи великої тривалості (HALE)	Найбільші (порівняно з пілотованими літаками)	Понад 30 год.	Понад 20 000 метрів	Великі відстані	Найскладніші БАС, що мають радіосистеми найбільшої потужності та дальності дії.

Клас БАС, безпосередньо впливаючи на характеристики його радіовипромінювань, визначає ряд особливостей моніторингу. Малі системи використовують передавачі меншої потужності та діють на менших відстанях, що вимагає розміщення засобів моніторингу ближче до потенційної зони їх застосування. Натомість системи класів MALE і HALE, маючи потужні передавачі, можуть бути виявлені на значно більших відстанях. Таким чином, моніторинг та ідентифікація БПЛА базуються на аналізі унікальних характеристик їхніх радіосигналів, оскільки сучасні БПЛА, особливо військові, застосовують складні технології зв'язку для підвищення надійності, дальності та захищеності від перешкод і перехоплення.

Сучасні командно-телеметричні радіолінії (КТРЛ) FPV-дронів використовують передові види модуляції, найпопулярнішими серед яких є стандарти CrossFire та ExpressLRS (Нагорнюк, 2024). Стандарт CrossFire, будучи адаптивним, використовує два основні види модуляції: за умов хорошого сигналу (високе співвідношення сигнал/шум) він застосовує двопозиційну частотну маніпуляцію (ЧМн-2, FSK) для досягнення високої швидкості передачі даних. У випадку коли якість зв'язку погіршується, система переходить на лінійну частотну модуляцію (ЛЧМ) за технологією LoRa (Long Range), що забезпечує значно вищу завадостійкість та дальність, хоча й зі зменшеною швидкістю. Сигнали управління та телеметрії передаються з часовим розділенням у різних частотних піддіапазонах. Хоча при використанні дронів у військових цілях зазвичай сигнал телеметрії від БПЛА до радіостанції не передається для зменшення «видимості» апарату.

Основною перевагою стандарту ExpressLRS в порівнянні з CrossFire є відкритий вихідний код. Він також ґрунтується на технології LoRa та ППРЧ, але, на відміну від CrossFire, канали управління та телеметрії функціонують з часовим розділенням, проте в одному частотному піддіапазоні. Завдяки відкритості платформи ExpressLRS може працювати на будь якій частоті передачі (наприклад, 433 МГц, 815 МГц або 925 МГц), головне щоб апаратна

частина підтримувала відповідні частоти. Також цей стандарт має велику кількість режимів з унікальними параметрами сигналу, як-от ширина смуги, тривалість символу та фактор розширення, що є важливими ознаками для ідентифікації. Сигнали БПЛА, передаючись у вигляді коротких пакетів даних, мають чітку часову структуру. Тривалість цих пакетів, а також тривалість перебування на одній частоті (частотного елемента ППРЧ), є стабільними та характерними для кожного стандарту і режиму роботи. Наприклад, тривалість пакета управління у стандарті CrossFire становить три мілісекунди, а телеметрії – два або шість мілісекунд, тому для розпізнавання таких сигналів використовують їх часові сигнатури.

Через використання сигналів з ППРЧ, які швидко змінюють частоту, для їх виявлення необхідні широкосмугові приймачі, здатні аналізувати значну частину радіочастотного спектра водночас. До сучасних типів таких приймачів належать каналізовані, компресійні та цифрові приймачі, але задача ускладнюється тим, що сигнали БПЛА, часто маючи низьку потужність, можуть бути приховані в шумах. Після виявлення сигналу вкрай важливо визначити його приналежність до конкретного типу БАС, і цей процес базується на аналізі зовнішніх параметрів сигналу. До таких параметрів належать, зокрема, несуча частота та ширина смуги, що окреслюють робочий діапазон системи, тип модуляції (розрізнення між FSK, LoRa та іншими видами модуляції), а також часові характеристики (тривалість пакетів, період ППРЧ, швидкість передачі даних).

Розвиток методів машинного навчання (ML) не оминув і сучасні системи ідентифікації БПЛА. Як зазначає О. Нагорнюк в своїй роботі (Нагорнюк, 2024): «Основні параметри радіосигналів каналів управління FPV - БпЛА, сформованих за протоколами CrossFire та ExpressLRS є елементами множин сталих значень, що дозволяє використовувати їх як ознаки для виявлення та розпізнавання даного класу сигналів». Запропонована методика послідовно аналізує низку параметрів: спершу діапазон частот, далі – вид модуляції, а вже потім – часові

параметри та параметри самої модуляції (як-от індекс маніпуляції для FSK або фактор розширення для LoRa), що дає змогу з достатньо високою точністю встановити стандарт і режим роботи КТРЛ. Встановлення місцезнаходження БПЛА або, що не менш важливо, його оператора, є критичною задачею, і оскільки засоби моніторингу пасивні (не випромінюють власних сигналів), вони гарантують прихованість роботи.

Як було зазначено вище, більшість БПЛА малого радіусу дії та деякі великого транслюють відеосигнал в реальному часі, тому розглянемо характеристики таких сигналів. У багатьох сучасних БАС, особливо у класі FPV (First Person View), канали управління та відеоканал є функціонально та фізично відокремленими. Наприклад, КТРЛ може використовувати технології розширення спектра, як-от псевдовипадкове перелаштування робочої частоти (ППРЧ) у діапазонах 868/915 мегагерц (наприклад, стандарти CrossFire або ExpressLRS), тоді як відеоканал функціонує в іншому діапазоні (наприклад, 5,8 гігагерца) із застосуванням абсолютно відмінних методів модуляції. Натомість, у професійних та військових системах ці канали можуть бути інтегровані в єдиний широкосмуговий цифровий канал зв'язку (datalink), який одночасно транслює команди управління (Uplink), телеметрію (Downlink) та відеопотік (Downlink), але незалежно від архітектури, відеосигнал є одним із головних джерел радіовипромінювання, що дає змогу здійснювати моніторинг та ідентифікацію БАС.

Характеристики відеосигналу кардинально різняться залежно від того, чи використовується аналогова або цифрова технологія передачі. Аналогова передача відео має ряд переваг: сумісність виробів різних виробників, практично нульова затримка, простота, дешевизна та поширеність. Тому ця технологія досі має широке застосування у малих БАС та FPV-дронах, що критично важливо для швидкісного пілотування і масового застосування. Зазвичай використовується стандартний композитний відеосигнал (CVBS), такий як PAL або NTSC, і для його передачі по радіоканалу найчастіше застосовується широкосмугова

частотна модуляція (ЧМ, FM). Використання ЧМ дозволяє досягти кращої якості зображення та завадостійкості порівняно з амплітудною модуляцією (АМ) за рахунок значно ширшої смуги пропускання.

Виходячи зі статистики, яку зібрали UA Dynamics в своєму посібнику (UA Dynamics, 2022), найпоширенішими частотними діапазонами для аналогових відеосигналів є 1,2, 3,3 та 5,8 ГГц (UA Dynamics, 2022, с. 43). Для польотів на великі відстані використовуються діапазони 1,2/1,3 гігагерца, оскільки нижчі частоти мають кращі характеристики поширення. Ширина каналу для аналогового відеосигналу зазвичай становить від 18 до 27 мегагерц. Сигнал є вразливим до багатопроменевого поширення та завад, що виявляється у вигляді «снігу», втрати кольору або розсинхронізації зображення.

Цифрова передача, своєю чергою, є стандартом для професійних, військових та сучасних комерційних БАС (наприклад, DJI, Autel), забезпечуючи високу якість зображення, завадостійкість та можливість шифрування. Відеопотік спершу оцифровується, а потім стискається використовуючи складні цифрові методи модуляції, що гарантують високу спектральну ефективність (кількість біт на герц). До них належать, зокрема, квадратурна фазова маніпуляція (QPSK), квадратурна амплітудна модуляція (QAM), наприклад 16-QAM або 64-QAM, та ортогональне частотне мультиплексування (OFDM), яке, по суті, лежить в основі більшості сучасних цифрових відеолінків (включаючи Wi-Fi та пропріетарні системи, як DJI OcuSync).

Для підвищення надійності та завадостійкості, а також з метою зниження ймовірності перехоплення (LPI), цифрові відеоканали, як правило, використовують технології ППРЧ (FHSS) або прямої послідовності (DSSS). Переважно використовуються ISM-діапазони 2,4 гігагерца та 5,8 гігагерца. Завдяки висоті польоту БАС, канал передачі відео має фундаментальну перевагу над каналами КТРЛ: високу вірогідність наявності каналу прямої видимості (Line-of-Sight, LOS). Відсутність значних перешкод (будівлі чи рельєф), означає, що головним обмежувальним фактором дальності є втрати у вільному просторі

(Free-Space Path Loss), які, пропорційно квадрату відстані, а також поглинання в атмосфері. Це дозволяє, на відміну від наземних систем Wi-Fi аналогічної потужності, сягати дальності передачі відео у десятки кілометрів.

Сучасний цифровий відеосигнал з БАС, як правило містить не тільки зображення а й додаткові дані, що допомагають вирішувати завдання дистанційного зондування та розвідки. Серед них критично важливою є геопросторова прив'язка (georeferencing), тому відеопотік нерідко містить вбудований потік метаданих (наприклад, у стандарті KLV). Він синхронно з кожним кадром передає координати БАС (широта, довгота, висота), параметри орієнтації платформи (крен, тангаж, курс), напрямок та кути огляду сенсора, а також точний час за GPS. Таким чином, цифровий відеосигнал являє собою комплексний потік даних, що поєднує стиснене відео та телеметрію, що висуває жорсткі вимоги до пропускної здатності та цілісності каналу передачі даних.

Беручи до уваги факт того, що сучасні БАС застосовують складні методи передачі, включаючи цифрову модуляцію, розширення спектра та шифрування, для захисту своїх каналів зв'язку, тому виявлення таких сигналів вимагає використання комплексних методів розвідки, які охоплюють не лише радіочастотний аналіз. До основних методів виявлення БАС А. Fallatah, Т. Alturki, Y. Alsabban і I. Radhwi (Fallatah et al., 2025) відносять: радіолокаційний (Radar), акустичний, оптичний (Computer Vision), інфрачервоний, радіочастотний (RF Analysis). Їх порівняльна характеристика щодо принципів роботи, переваг, обмежень представлена в табл. 1.2.

Серед перелічених методів, радіочастотний аналіз є найбільш універсальним та надійним для завдань радіоелектронної розвідки, оскільки він не вимагає прямої видимості, працює на великих відстанях та є пасивним, що забезпечує прихованість роботи.

Таблиця 1.2

Порівняльна характеристика методів виявлення безпілотних авіаційних систем

Метод виявлення	Принцип роботи	Переваги	Обмеження
Радіолокаційний (Radar)	Використання відбитих радіохвиль для виявлення фізичної присутності об'єкта. Також можливі більш рідкісні способи виявлення, як от аналіз мікродоплерівських сигнатур від гвинтів (Nemer et al., 2021).	Має слабку залежність від погоди та ефективний на великих відстанях. Деякі види дозволяють визначати координати й швидкість БПЛА.	Має суттєві обмеження, працюючи з малими БАС, через їхню низьку ефективну площу розсіювання (ЕПР). Активний засіб, що демаскує себе.
Акустичний	Виявлення унікальних звукових сигнатур, які створюються двигунами та гвинтами БАС.	Будучи пасивним, не демаскує систему виявлення.	Дуже обмежений радіус дії (до кількох сотень метрів). Сильно залежить від фонового шуму (вітер, транспорт).
Оптичний (Computer Vision)	Використання відеокамер та алгоритмів обробки зображень для візуального виявлення та ідентифікації БАС (Nemer et al., 2021).	Забезпечує точну ідентифікацію типу БАС і має низьку вартість.	Вимагає прямої видимості (LOS), тож є неефективним уночі, в тумані або за поганих погодних умов.
Інфрачервоний	Виявлення теплових сигнатур, які випромінюються двигунами та електронікою БАС.	Є ефективним у темний час доби, оскільки працює без потреби в освітленні.	Має нижчу роздільну здатність, що ускладнює точну ідентифікацію типу БАС.
Радіочастотний (RF Analysis)	Виявлення та аналіз радіосигналів, які випромінюються БАС (канали управління, телеметрії та відео).	Не вимагає прямої видимості, працює на великих відстанях, а будучи пасивним, гарантує прихованість роботи.	Потребує вельми складного обладнання для аналізу сучасних сигналів із розширенням спектра.

Для виявлення сигналів із псевдовипадковим перелаштуванням робочої частоти (ППРЧ) необхідні спеціалізовані типи приймачів, кожен з яких має специфічні характеристики та сфери застосування. Порівняльна характеристика основних типів приймачів представлена у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Порівняльна характеристика типів приймачів для виявлення
радіосигналів

Тип приймача	Принцип роботи	Ймовірність перехоплення	Складність реалізації	Переваги/Недоліки
Скануючий супергетеродинний	Вузькосмуговий фільтр послідовно «проходить» заданий діапазон	Дуже низька для сигналів ППРЧ	Низька	Недолік: приймач, по суті, найімовірніше «пропустить» короткий імпульс
Каналізований	Банк паралельних фільтрів працюють одночасно, миттєво покриваючи широку смугу	Висока в межах своєї смуги	Висока (апаратно складний)	Перевага: гарантоване виявлення; Недолік: висока вартість
Компресійний (Compressive / «Microscan»)	Використовує дисперсійні лінії затримки для «стиснення» широкосмугового сигналу в короткий імпульс	Висока	Середня	Полегшує виявлення швидких сигналів
Цифровий (Digital Receiver / SDR)	Широка смуга спектра оцифровується високошвидкісним АЦП, а подальший аналіз виконується програмно за допомогою ШПФ (FFT)	Висока для всіх типів сигналів	Середня (проте, потребує потужного процесора)	Дозволяє створювати панорамні індикатори («водоспади»), які, безумовно, ідеальні для візуального та автоматичного виявлення як стаціонарних аналогових сигналів, так і сигналів ППРЧ

Цифровий приймач, поєднуючи високу ймовірність перехоплення з гнучкістю програмної обробки і є найсучаснішим підходом, що робить його оптимальним вибором для систем радіоелектронної розвідки.

Після виявлення факту наявності сигналу та встановлення його частоти (чи діапазону ППРЧ) розпочинається етап перехоплення – запис та аналіз сигналу, наприклад для отримання відеоінформації. Методи, що використовуються для цього, кардинально відрізняються для аналогових та цифрових сигналів. Процес перехоплення аналогового відео, яке широко застосовується у FPV-дронах є відносно простим. Приймач (зазвичай SDR) налаштовується на несучу частоту виявленого сигналу, і оскільки аналогове відео найчастіше послуговується широкосмуговою частотною модуляцією (ЧМ, FM), застосовується відповідний ЧМ-демодулятор. На виході демодулятора, зрештою, отримується стандартний композитний відеосигнал (CVBS) у форматі PAL або NTSC, який можна безпосередньо подати на монітор чи записуючий пристрій для візуалізації та подальшого аналізу.

Перехоплення цифрових відеосигналів є набагато складнішим і багатоетапним завданням. Процес перехоплення включає запис та аналіз сигналу для визначення його зовнішніх параметрів, таких як: типу модуляції, символної швидкості, параметрів кодування, структури кадру тощо. На основі отриманих параметрів створюється програмний демодулятор та декодер (наприклад, декодер Вітербі чи Турбо-кодів) для відновлення «чистого» бітового потоку. Головним бар'єром в цьому процесі є дешифрування, оскільки більшість цифрових відеоканалів використовують надійне шифрування (наприклад, AES), і без наявності ключа отримання візуальної інформації в реальному часі є неможливим. Якщо ж потік не зашифрований (або ключ відомий), він подається на відповідний відеодекодер для відновлення зображення, але через ці складнощі перехоплення змісту цифрових відеоканалів є надзвичайно ресурсомісткою задачею.

Навіть якщо відеопотік надійно зашифрований, сам факт виявлення та

перехоплення радіосигналу надає критично важливу тактичну інформацію. Кожен тип БАС та його режим роботи має унікальний та стабільний «радіочастотний відбиток» (RF Fingerprinting), тож сучасні системи радіомоніторингу, що використовують машинне навчання, можуть бути навчені на розпізнавання цих сигнатур. Аналізуючи такі параметри, як частота, ширина смуги, характеристики ППРЧ та часові параметри пакетів, система, таким чином, може з високою точністю ідентифікувати тип БАС, навіть не маючи доступу до вмісту відео.

1.3. Обґрунтування вимог до підготовки фахівців із розробки засобів радіоелектронної розвідки у фаховій передвищій освіті

Фахова передвища освіта відіграє вирішальну роль у формуванні основи знань та навичок, необхідних для ефективної протидії ворогу, коли на сучасному полі бою панують складні цифрові системи зв'язку, безпілотні авіаційні системи та методи передачі даних з низькою ймовірністю перехоплення. Вона повинна закласти не лише технічні основи, а й розвинути у майбутнього фахівця специфічні компетентності, критично важливі для розв'язання складних завдань в умовах комплексності та неповної визначеності. Підготовка фахівців з радіоелектронної розвідки у системі фахової передвищої освіти є, відтак, комплексним завданням, що вимагає балансу між глибокою фундаментальною підготовкою та актуальними практичними навичками (Діденко, 2024). Проте, недостатньо просто навчити оператора працювати з існуючими комплексами радіоелектронної розвідки, оскільки технології ворога, зокрема у сфері безпілотних авіаційних систем та цифрового зв'язку, розвиваються надзвичайно стрімко (Казіміров та ін., 2025).

Підготовка фахівця радіоелектронної розвідки має виходити за межі вузькотехнічної спеціалізації. Так, у відповідності до стандарту фахової передвищої освіти за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» інтегральна компетентність, до якої має прагнути освітня

програма, полягає у здатності розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у своїй галузі (Міністерство освіти і науки України, 2022). Навіть на рівні фахової передвищої освіти, підготовка повинна формувати навички, що в подальшому дозволять розв'язання комплексних теоретичних і практичних проблем.

Передусім, до ключових загальних компетентностей, що мають закладатися під час навчання, належить *здатність до пошуку, оброблення та аналізу відомостей із різних джерел*. Фахівець радіоелектронної розвідки постійно оперує неповними даними в насиченому інформаційному середовищі, тому йому вкрай необхідно швидко й ефективно опрацьовувати великі обсяги інформації для ухвалення виважених рішень. Не менш важливою є *здатність до абстрактного та системного мислення, аналізу й синтезу*. Ці навички є критичними для роботи зі складними системами радіоелектронної боротьби, де радіоелектронна атака ворога та власна радіоелектронна підтримка й захист взаємопов'язані та впливають одна на одну. Фахівець, відповідно, повинен вміти бачити систему загалом, розуміти взаємозв'язки між її складниками та передбачати наслідки своїх дій у складному електромагнітному середовищі.

Основою успішної діяльності фахівця радіоелектронної розвідки, безперечно, є глибокі знання наукових, математичних та фізичних засад, що лежать в основі функціонування систем розвідки й захисту інформації.

Фундаментальна теоретична підготовка охоплює декілька взаємопов'язаних блоків знань, кожен з яких є необхідним для формування цілісного розуміння принципів радіоелектронної розвідки:

1. *Фізичні основи радіоелектронної розвідки*. Цей блок охоплює розуміння фундаментальних принципів поширення електромагнітних хвиль у різних середовищах, як-от тропосфера й іоносфера, та на різних частотах, починаючи від високих частот (HF) і аж до надвисоких частот (SHF). Фахівець має розуміти явища прямої видимості на радіочастотах, відбиття радіохвиль від різних поверхонь, дифракції навколо перешкод, оскільки ці фізичні процеси

безпосередньо впливають на дальність перехоплення сигналів та якість отриманої інформації.

2. *Теорія сигналів та радіотехнічних кіл.* Ця дисципліна, власне, становить ядро теоретичної підготовки фахівця радіоелектронної розвідки. Блок знань включає детальний аналіз типів модуляції, починаючи від простих аналогових методів, таких як амплітудна та частотна модуляція, і закінчуючи складними цифровими методами, включно з частотною, фазовою, квадратурно-фазовою та квадратурно-амплітудною модуляцією. Окрему увагу варто приділяти сучасним широкосмуговим сигналам, що застосовуються для досягнення низької ймовірності перехоплення, зокрема методам прямої послідовності (DSSS) та псевдовипадкового перелаштування робочої частоти (FHSS).

3. *Апаратна база радіоелектронної розвідки.* Знання апаратної бази, що охоплюється дисциплінами на кшталт комп'ютерної електроніки, є вкрай необхідною складовою підготовки. Це включає вивчення схемотехнічних засад цифрових інтегральних схем та принципів роботи основних компонентів систем РЕР. Фахівець повинен розуміти принципи роботи приймальних пристроїв, зокрема супергетеродинних приймачів, їхні ключові характеристики (чутливість, динамічний діапазон, вибірковість), а також основи функціонування сучасних цифрових приймачів і програмно-визначених радіосистем. Розуміння антенно-фідерних систем, включаючи типи антен (диполь, монополь, антена Ягі-Уда, фазовані антенні решітки), їхні характеристики (діаграма спрямованості, коефіцієнт підсилення) та роль у виявленні і пеленгації сигналів є також невід'ємною частиною технічної підготовки.

4. *Цифрова обробка сигналів.* Оскільки більшість сучасних сигналів є цифровими й обробляються цифровими методами, фахівець має володіти основами цифрової обробки сигналів. Це включає методи швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) для спектрального аналізу сигналів, принципи цифрової фільтрації для виділення корисного сигналу з шуму та завад, а також

кореляційної обробки для виявлення та синхронізації з сигналами, що мають низьку спектральну щільність потужності. Розуміння цих математичних методів дозволяє фахівцю ефективно працювати з програмно-визначеними радіосистемами та розробляти власні алгоритми обробки для виявлення нових типів загроз.

Теоретичні знання повинні нерозривно поєднуватись з практичним розв'язанням конкретних завдань, що й обумовлює необхідність формування спеціальних фахових компетентностей, спрямованих на безпосередню професійну діяльність (Діденко, 2024; Казіміров та ін., 2025; Міністерство освіти і науки України, 2022). До ключових практичних навичок фахівця радіоелектронної розвідки належать:

1. *Виявлення та вимірювання параметрів сигналів.* Фундаментальною практичною навичкою є спроможність виявляти сигнали технічних засобів що становлять інтерес та вимірювати їх параметри. На практиці це означає вміння за допомогою аналізатора спектра та спеціалізованого програмного забезпечення визначати несучу частоту сигналу, його ширину смуги, тип модуляції, швидкість передачі даних і часові параметри сигналу, як-от тривалість імпульсу та пакету. Ці навички найкраще можуть бути сформовані через інтенсивну лабораторну практику з реальним обладнанням і сигналами.

2. *Ідентифікація сучасних загроз.* Підготовка мусить фокусуватися на актуальних загрозах, що визначає критичну важливість уміння ідентифікувати сучасні загрози, і особливо важливим тут є вміння розпізнавати радіосигнали безпілотних авіаційних систем. Фахівець повинен знати сигнатури поширених систем, зокрема FPV-дронів, що використовують стандарти CrossFire та ExpressLRS. Розуміння специфічних характеристик цих сигналів, як-от часова структура пакетів, параметри модуляції та патерни стрибків частоти ППРЧ, дозволяє надійно ідентифікувати тип безпіотної системи навіть за вельми складної електромагнітної обстановки.

3. *Застосування методів пасивної локації.* Ці здатності становлять

вагому складову практичної підготовки. Фахівець має володіти практичними навичками визначення місцезнаходження джерел випромінювання, що включає розуміння та застосування тріангуляційного (кутомірного) методу та різницево-далекомірного (гіперболічного) методу, заснованого на вимірюванні різниці часу надходження сигналу. Це також стосується здатності ідентифікувати оператора безпілотної авіаційної системи шляхом пеленгації його каналу управління, що є критично важливим для нейтралізації загрози (Казіміров та ін., 2025), а практична підготовка, крім іншого, має включати роботу з системами пеленгації та розуміння факторів, що впливають на точність визначення координат.

4. *Володіння сучасними технологіями аналізу.* З огляду на складність сучасних сигналів, ручний аналіз є часто неможливим чи неефективним, що визначає потребу володіння сучасними технологіями аналізу. Підготовка повинна включати розуміння концепції радіочастотного відбитка (RF Fingerprinting), згідно з якою кожний передавач має унікальний радіочастотний відбиток, який можна використати для ідентифікації конкретного пристрою, навіть не вдаючись до декодування змісту переданого повідомлення. Ознайомлення з основами машинного навчання, зокрема з тим, як методи машинного навчання та глибокі нейронні мережі використовуються для автоматичної класифікації та ідентифікації невідомих сигналів, істотно розширює можливості фахівця у роботі з новими типами загроз. Глибоке розуміння концепції злиття сенсорів (sensor fusion), коли радіоелектронна розвідка є частиною більшої системи і дані радіочастотного аналізу поєднуються з даними інших сенсорів (радіолокаційних, акустичних та оптичних), формує системне розуміння місця радіоелектронної розвідки у загальній системі розвідки та спостереження.

Для фахівця PER бажаною є здатність розробляти апаратне, алгоритмічне та програмне забезпечення систем захисту інформації. На практичному рівні це означає володіння мовами програмування та написання скриптів, такими як Python, та середовищами для обробки сигналів, як-от

MATLAB або GNU Radio, задля написання власних, навіть простих, алгоритмів демодуляції та аналізу сигналів. Ця навичка є критичною в сьогоdnішній час, оскільки системи ворога покращуються та змінюються дуже швидко. Для роботи з новими, невідомими типами загроз, коли стандартні методи та інструменти можуть виявитися цілковито неефективними, здатність швидко прототипувати й тестувати нові алгоритми обробки сигналів дозволяє фахівцю оперативно адаптуватися до змін у тактиці супротивника.

Для формування зазначених компетентностей сам освітній процес має бути структурований відповідним чином: викладання повинно бути студентоцентрованим та проблемно-орієнтованим (Діденко, 2024), що, по суті, означає перехід від простої передачі знань до спільного вирішення практичних завдань. Основними видами занять мають стати лекції для формування теоретичної бази, семінари для обговорення складних питань та кейсів, але найголовніше – практичні та лабораторні заняття, під час яких студенти безпосередньо працюють з обладнанням радіоелектронної розвідки, реальними сигналами та програмним забезпеченням для їхнього аналізу. Саме практична робота з реальним обладнанням формує фахові навички, які неможливо досягнути лише через теоретичне вивчення матеріалу.

Обов'язковою складовою освітньої програми має бути педагогічна або науково-дослідницька практика, коли здобувач освіти закріплює отримані навички в умовах, максимально наближених до реальних, працюючи з реальним обладнанням, сигналами та вирішуючи практичні завдання під наглядом досвідчених фахівців (Діденко, 2024; Міністерство освіти і науки України, 2022). Практика може проводитися на базі військових підрозділів радіоелектронної боротьби, науково-дослідних організацій або підприємств, що розробляють засоби радіоелектронної розвідки, і така практика дозволяє студентам побачити застосування теоретичних знань у реальних умовах, а також зрозуміти специфіку професійної діяльності.

Контроль знань, своєю чергою, повинен бути комплексним і охоплювати

різні форми оцінювання. Окрім традиційних іспитів та заліків, що перевіряють теоретичні знання, ключову роль має відігравати захист звітів з лабораторної роботи. Саме під час захисту практичної роботи студент демонструє не лише знання теоретичних основ, а й вміння самостійно виявляти небезпечні сигнали та вимірювати їхні параметри, що, власне, і є кінцевою метою його підготовки. Звіт з лабораторної роботи має включати не лише результати вимірювань, але й аналіз отриманих даних, інтерпретацію результатів та висновки про характеристики досліджуваного сигналу, а сам захист передбачає відповіді на питання викладача про методику виконання роботи, фізичний зміст отриманих результатів та можливі джерела похибок, що уможливило формування глибокого розуміння предмета.

1.4. Аналіз освітніх програм фахової передвищої освіти для підготовки ІТ-фахівців у сфері протидії безпілотним системам

Дослідження освітніх програм у закладах фахової передвищої освіти України мало на меті виявити потенціал щодо підготовки фахівців, здатних розробляти засоби моніторингу та захисту інформаційного простору від безпілотних систем. Аналіз охоплював як цивільні, так і військові коледжі по всій країні, що дозволило сформувати цілісну картину наявних освітніх можливостей та виявити критичні прогалини у підготовці кадрів, зокрема і ІТ-фахівців, для оборонного сектору. Проте специфіка радіоелектронної розвідки диктує нагальну потребу в міждисциплінарному підході до підготовки фахівців. Саме тому, крім традиційних ІТ-напрямів, на кшталт 122 «Комп'ютерні науки» чи 125 «Кібербезпека та захист інформації», до аналізу було залучено спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка». Власне, фахівці цього профілю володіють фундаментальними компетентностями у сфері радіочастотного аналізу та обробки сигналів, що, поєднуючись із навичками роботи з радіоелектронним обладнанням, що є вкрай важливим для створення засобів детектування та перехоплення сигналів безпілотних систем.

В результаті проведеного дослідження було виокремлено Військовий коледж сержантського складу Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут (м. Полтава), як провідний та найбільш релевантний заклад освіти в Україні на рівні фахової передвищої освіти. В цьому закладі здійснюється підготовка за освітньо-професійним ступенем фахового молодшого бакалавра з терміном навчання два роки і його освітні програми за спеціальностями 122 «Комп'ютерні науки» та 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» поки є єдиними на цьому освітньому рівні, що системно інтегрують дисципліни з кібербезпеки, військового зв'язку, радіотехніки та бойового застосування інформаційних систем.

Відкритий доступ до детального переліку навчальних дисциплін в цьому закладі освіти дозволяє провести об'єктивний змістовний аналіз освітніх програм. Аналіз спеціальності «Комп'ютерні науки» виявив наявність критично важливих дисциплін, що формують унікальне поєднання технічних та військово-прикладних компетентностей. Курс «Безпека інформаційних систем» разом із дисципліною «Основи інформаційної безпеки» (Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут [ВІТІ], 2024б) забезпечують глибоке розуміння методів захисту даних і мереж, що є критичним для гарантування стійкості власних систем управління від атак ворога. Дисципліна «Комп'ютерні мережі» надає необхідні знання для аналізу мережевої інфраструктури та протоколів, що використовуються безпілотними системами супротивника. Особливу цінність має обов'язкова дисципліна «Бойове застосування інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального призначення», яка надає курсантам оперативний контекст та навчає застосовувати технічні знання в умовах реальних бойових дій.

Програма за спеціальністю «Електронні комунікації та радіотехніка» готує технічних спеціалістів, які оперують у радіочастотному спектрі, що є ключовим середовищем для функціонування будь-якого безпілотного апарату. Навіть у межах цієї радіотехнічної спеціальності робиться наголос на безпеці через

включення дисципліни «Основи кібербезпеки» (ВІТІ, 2024в), що підкреслює інтегрований підхід до підготовки фахівців. Дисципліни «Військова техніка зв'язку» (ВІТІ, 2024а) та «Основи побудови військової техніки зв'язку» (ВІТІ, 2024г) надають практичні знання про конкретні системи, що перебувають на озброєнні, та принципи їхнього функціонування, готуючи фахівців, здатних не тільки експлуатувати, але й розуміти логіку роботи обладнання радіоелектронної боротьби та розвідки.

Серед цивільних закладів фахової передвищої освіти значний потенціал виявлено у Рівненського фахового коледжу інформаційних технологій. На відміну від багатьох інших регіональних коледжів, що пропонують стандартні програми загального профілю, цей заклад реалізує освітню програму за спеціальністю 172 «Електроніка, електронні комунікації та радіотехніка» (Рівненський фаховий коледж інформаційних технологій, 2025), що є винятково релевантною для підготовки фахівців у сфері протидії безпілотним системам. Детальний аналіз навчального плану програми дозволив виявити наявність дисциплін, які є фундаментальними для розробки апаратно-програмних засобів радіоелектронної боротьби та розвідки і, які рідко зустрічаються в цивільних закладах цього освітнього рівня.

Дисципліна «Будова та програмування мікроконтролерів» формує навички роботи на низькому апаратному рівні, що є вкрай важливим для створення пристроїв радіоелектронної боротьби, систем виявлення на основі аналізу радіосигналів та розробки спеціалізованого обладнання для перехоплення сигналів безпілотних систем. Курс «Основи інформаційної безпеки» забезпечує базове розуміння принципів захисту каналів зв'язку та даних, що важливо як для захисту власних систем управління, так і для аналізу вразливостей у системах супротивника. Дисципліна «Проектування та експлуатація мереж» надає знання про мережеві протоколи, які часто використовуються для управління комерційними безпілотними апаратами, що є основою для розробки засобів їхнього перехоплення та нейтралізації (Рівненський фаховий коледж

інформаційних технологій, 2025).

Проаналізувавши освітню програму Рівненського фахового коледжу інформаційних технологій дійшли висновку, що вона розрахована для підготовки фахівців, які володіють не лише навичками програмування, а й ґрунтовним розумінням взаємодії програмного забезпечення з апаратним. На відміну від військових закладів, які переважно навчають застосуванню та експлуатації вже наявних систем, цей цивільний коледж фокусується на підготовці спеціалістів, здатних створювати нові вбудовані системи з нуля. Фахова підготовка тут включає дисципліни з апаратної розробки та проєктування систем Інтернету речей, що є критичним для створення інноваційних рішень у сфері протидії безпілотним системам.

Аналіз освітніх програм у Львівській області виявив парадоксальну ситуацію: вона характеризується наявністю закладів із релевантними назвами спеціальностей до підготовки фахівців здатних працювати у сфері протидії БПЛА, але браком прозорості інформації щодо змісту підготовки. Самбірський фаховий коледж економіки та інформаційних технологій пропонує освітню програму за спеціальністю 125 «Кібербезпека та захист інформації». Сама наявність такої програми, по суті, є позитивним сигналом, який свідчить про розуміння сучасних викликів у сфері інформаційної безпеки. Однак критичною проблемою виявилася неможливість отримати доступ до детальної освітньо-професійної програми чи навчального плану цієї спеціальності на офіційному вебсайті закладу (Самбірський фаховий коледж економіки та інформаційних технологій, n.d.), причому ця ситуація створює інформаційну невизначеність і не дозволяє провести змістовну оцінку. Військовий коледж сержантського складу Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного у Львові демонструє чітко виражену спрямованість на підготовку фахівців для традиційних родів військ та їхнього матеріально-технічного забезпечення. Аналіз переліку спеціальностей, як-от управління діями підрозділів артилерії, управління діями підрозділів механізованих військ та експлуатація і ремонт

бронетанкової техніки та озброєння (Національна академія сухопутних військ, 2022), показує відсутність у відкритому доступі інформації щодо наявності спеціалізованих програм з інформаційних технологій, кібербезпеки чи радіоелектронної боротьби.

Дослідження систем освіти суміжних із Рівненською областю, зокрема Житомирської, Волинської, Тернопільської та Хмельницької, виявило наявність значної кількості коледжів, що пропонують освіту в галузі інформаційних технологій, проте вона здебільшого має загальний характер. Бердичівський фаховий коледж промисловості, економіки та права, Кам'янець-Подільський фаховий коледж індустрії, бізнесу та інформаційних технологій, а також Фаховий коледж економіки, права та інформаційних технологій Західноукраїнського національного університету в Тернополі пропонують, власне, стандартні спеціальності, такі як «Інженерія програмного забезпечення» та «Комп'ютерна інженерія».

Переважна більшість програм у цих регіонах розрахована на підготовку кваліфікованих фахівців із загальними навичками програмування, адміністрування комп'ютерних мереж та обслуговування техніки. Такі випускники є цінним ресурсом для національної економіки, проте, не мають специфічної підготовки у сферах кібербезпеки, радіоінженерії чи вбудованих систем, яка є ключовою для роботи над засобами протидії безпілотним системам. Одноманітність освітніх пропозицій, таким чином, свідчить про існування стандартизованого підходу до освіти в галузі інформаційних технологій на рівні фахової передвищої підготовки, орієнтованого на техніків для загальних потреб ринку праці, а не на спеціалістів для високотехнологічних стратегічних галузей.

Важливою системною проблемою, що була виявлена під час дослідження, є технічна недоступність офіційних вебсайтів багатьох коледжів або ж відсутність на них детальної інформації про навчальні плани та освітньо-професійні програми. Це створює значні перепони для будь-якого централізованого аналізу освітнього потенціалу, що ґрунтувався б на

об'єктивних даних. Немоżliвість отримати доступ до навчальних планів та програм дисциплін унеможлиблює достовірну оцінку та змушує покладатися на неповну інформацію з реєстрів чи сторонніх ресурсів, що не дозволяє проводити стратегічного планування людського капіталу в оборонній сфері.

Тематичний аналіз освітніх програм і ключових компетентностей та відповідно робочих програм дисциплін дозволив виявити критичні проблеми національної системи підготовки кадрів у сфері інформаційної безпеки та кіберзахисту, де спостерігається разючий розрив між військовою та цивільною освітою. Військова освіта забезпечує міцну прикладно-орієнтовану базу з інформаційної безпеки в рамках військового контексту, тоді як цивільна освіта в цій галузі перебуває на початковому етапі розвитку з фрагментарним представленням відповідних дисциплін.

Компетентності ж у галузі радіоінженерії, комунікацій та обробки сигналів демонструють іншу картину взаємодоповнення військової та цивільної освіти. Військові заклади освіти фокусується на підготовці до роботи з конкретними військовими апаратними комплексами та протоколами, що стоять на озброєнні, забезпечуючи високу готовність випускників до виконання завдань у польових умовах. Натомість в цивільних закладах освіти викладаються ширші, фундаментальні принципи електроніки та радіотехніки використовуючи комерційні стандарти та обладнання як навчальну базу. Така розбіжність відкриває унікальну можливість для синергії: випускники військових коледжів розуміють специфіку конкретних систем, а випускники цивільних програм мають краще усвідомлення фундаментальних принципів, застосовних до будь-яких систем.

Критичною особливістю виявилось те, що компетентності в галузі вбудованих систем, мікроконтролерів та Інтернету речей, які лежать в основі сучасних безпілотних технологій та засобів протидії їм, є майже ексклюзивною прерогативою цивільного сектору освіти. Єдиним закладом, де було чітко ідентифіковано відповідну дисципліну, є Рівненський фаховий коледж

інформаційних технологій. Такі дисципліни відсутні у детальних навчальних планах військових коледжів, що були доступні для аналізу, що свідчить про значну стратегічну прогалину у військовій системі освіти на рівні сержантського складу.

Узагальнені результати проведеного аналізу освітніх програм представлено в табл.1.4.

Таблиця 1.4

Аналіз освітніх програм ЗФПО у сфері протидії БПЛА

Назва закладу освіти	Спеціальність	Ключові релевантні дисципліни	Аналіз та коментарі
Військовий коледж сержантського складу ВІТІ імені Героїв Крут	122 Комп'ютерні науки	Безпека інформаційних систем, Основи інформаційної безпеки, Комп'ютерні мережі, Бойове застосування інформаційно-телекомунікаційних систем	Найбільш релевантна програма в Україні, що забезпечує унікальне поєднання знань з ІТ, кібербезпеки та військової справи, що робить випускників придатними для негайного залучення до операційних ролей.
	172 Електронні комунікації та радіотехніка	Основи кібербезпеки, Військова техніка зв'язку, Організація військового зв'язку, Основи телекомунікаційних мереж	Це критично важлива програма для ролей, які вимагають знань у сферах РЕБ/РЕР та аналізу сигналів, що доповнює спеціальність «Комп'ютерні науки».
Рівненський фаховий коледж інформаційних технологій	172 Електроніка, електронні комунікації та радіотехніка	Програмування мікроконтролерів та IoT, Основи інформаційної безпеки та захисту даних, Побудова та адміністрування мереж	Унікальна цивільна програма, що навчає критично важливим навичкам роботи з апаратним забезпеченням, а отже, ідеально підходить для інноваційних та розробницьких команд.

Продовження табл.1.4

Самбірський фаховий коледж економіки та інформаційних технологій	125 Кібербезпека та захист інформації	Невідомо	Назва програми є вельми релевантною, але навчальний план неможливо проаналізувати через відсутність публічної інформації.
Кам'янець-Подільський фаховий коледж індустрії, бізнесу та інформаційних технологій	121 Інженерія програмного забезпечення, 123 Комп'ютерна інженерія	Загальні дисципліни з програмування та адміністрування мереж	Є стандартними ІТ-програми, що готують техніків загального профілю, а тому підходять для неспеціалізованих ролей розробників ПЗ.
Бердичівський фаховий коледж промисловості, економіки та права	121 Інженерія програмного забезпечення	Загальні дисципліни з програмування	
Фаховий коледж економіки, права та інформаційних технологій ЗУНУ	121 Інженерія програмного забезпечення	Загальні дисципліни з програмування	
Військовий коледж сержантського складу ХНУПС імені Івана Кожедуба	172 Телекомунікації та радіотехніка	Експлуатація наземних засобів радіоелектронного та інформаційного забезпечення польотів авіації	Програма є вузькоспеціалізованою для потреб авіації (управління повітряним рухом), тож може бути джерелом фахівців із базовими знаннями в радіотехніці.

Як результат, було сформульовано кілька системних прогалин у підготовці кадрів для сфери протидії безпілотним системам:

1. Відсутність інтегрованої підготовки за всіма ключовими компетентностями. Жодна окрема програма, ні цивільна, ні військова, не забезпечує ефективної інтеграції всіх трьох ключових сфер компетентностей: кібербезпеки, радіоінженерії та вбудованих систем. Студенти вивчають одну або дві з цих царин, але не здобувають

цілісного набору навичок, необхідного для розробника систем протидії сучасним безпілотним апаратам. Така фрагментація знань, на жаль, призводить до необхідності додаткового навчання або самостійного опанування суміжних дисциплін після завершення базової освіти.

2. Відсутність специфічного освітнього контенту про безпілотні системи. Очікувано, відсутній специфічний освітній контент, безпосередньо присвячений безпілотним системам та методам протидії їм. Знання надаються у вигляді складових частин, як-от мережі, радіохвилі чи програмування, але студентів не навчають цілеспрямовано застосовувати їх для розв'язання цієї конкретної критично важливої проблеми. Відсутність прикладного фокусу на технологіях БАС означає, що випускники повинні самостійно синтезувати знання з різних дисциплін для створення ефективних рішень протидії безпілотним загрозам.
3. Інформаційна непрозорість освітніх програм. Системна інформаційна недоступність навчальних програм значної кількості цивільних коледжів є критичним недоліком освітньої системи. Це створює значні перепони для будь-якого централізованого аналізу освітнього потенціалу, що ґрунтувався б на об'єктивних даних. Немоżliвість отримати доступ до навчальних планів та програм унеможливорює достовірну оцінку та змушує покладатися на неповну інформацію з реєстрів чи сторонніх ресурсів.

Враховуючи описані вище прогалини було сформульовано можливі шляхи удосконалення процесу підготовки майбутніх фахівців з інформаційних технологій в сфері протидії БПЛА, зокрема такі, як:

1. Створення та впровадження багаторівневої стратегії залучення обдарованих здобувачів освіти. Доцільним є концентрування першочергових зусиль на випускниках військових коледжів, які, володіючи інтегрованими військовими, кібернетичними та

комунікаційними знаннями, можуть бути ефективними з першого дня, не потребуючи тривалої додаткової підготовки. Випускники ж цивільних програм із фундаментальними навичками в електроніці та радіотехніці, своєю чергою, мають ідеальні знання для ролей, пов'язаних із дослідженнями та інноваціями, хоча й потребуватимуть програми адаптації до військової специфіки.

2. Вдосконалення освітніх програм шляхом розробки та імплементації спеціалізованого вибіркового модуля «Основи розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення безпілотних систем» у провідних ЗФПО. Такий модуль повинен охоплювати поширені протоколи зв'язку безпілотних систем, аналіз їх вразливостей, принципи технологій радіоелектронної боротьби, основи систем управління польотом і трансляції відео в реальному часі, а також етичні та правові аспекти застосування засобів радіоелектронної протидії.
3. Створення освітньої моделі, що органічно поєднує освіту, науку та оборонну промисловість. Для цього необхідне створення формалізованої рамки співпраці між Міністерством оборони, ключовими оборонними підприємствами та обраною групою високопотенційних коледжів. Така співпраця повинна сприяти залученню військових операторів із бойовим досвідом та провідних інженерів для проведення лекцій і практичних занять у цивільних коледжах. Також має сенс створення програм стажування для найкращих студентів у науково-дослідних лабораторіях та військових частинах, забезпечення цивільних коледжів спеціалізованим обладнанням для організації практичного навчання та формування дорадчих органів за участі представників війська та промисловості для регулярного перегляду та оновлення навчальних програм відповідно до нових загроз та технологічних реалій.

РОЗДІЛ II

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ НАВЧАННЯ ПРОЄКТУВАННЮ ТА РОЗРОБЦІ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ І ПЕРЕХОПЛЕННЯ ВІДЕОСИГНАЛІВ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ

2.1. Зміст та організаційно-методичні засади навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки у закладах фахової передвищої освіти

Проведений раніше аналіз освітніх програм у закладах фахової передвищої освіти засвідчив наявність суттєвих системних прогалин у підготовці ІТ-фахівців, що стосуються радіоелектронної розвідки та методів протидії безпілотним системам. Виявлена відсутність інтегрованого підходу, котрий би поєднував кібербезпеку, радіоінженерію та вбудовані системи, а також дефіцит спеціалізованого освітнього контенту щодо безпілотних систем зумовлюють потребу в розробці комплексної методики навчання, що не буде мати цих недоліків.

В контексті даного дослідження важливим завданням є визначення змісту навчання, зокрема знань, умінь і практичних завдань із розробки засобів радіоелектронної розвідки, а також організаційно-методичних засад, що відображають основні принципи, вимоги та правила структурування, упровадження й реалізації цього змісту в освітньому процесі закладів фахової передвищої освіти.

Зокрема, акцент у змісті навчання робиться на інтеграції теоретичних основ радіоелектроніки, принципів проєктування та побудови пристроїв, а також практичних завдань із використанням розробленого пристрою та освітніх ресурсів, що забезпечують формування професійних компетентностей студентів через практичну діяльність.

Методика навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки у закладах фахової передвищої освіти передбачає два взаємодоповнювальні підходи, спрямовані на ефективне використання власного розробленого засобу РЕР та

супровідних методичних матеріалів, зокрема у вигляді електронного вебресурсу. Перший підхід полягає у створенні та інтеграції вибіркової дисципліни або спеціалізованого курсу в освітню програму підготовки ІТ-фахівців, другий – в міждисциплінарній інтеграції окремих тем, модулів та відповідних практичних завдань із розробки та застосування засобів РЕР виявлення БПЛА у зміст дисциплін комп'ютерного циклу.

Розглянемо особливості реалізації першого підходу. Розроблена навчальна вибіркова дисципліна «Основи розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем» спрямована на формування у здобувачів фахової передвищої освіти комплексної системи знань, умінь та практичних навичок у галузі проєктування, створення й експлуатації апаратно-програмних засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем.

Основною *метою* вивчення є забезпечення глибокої інтеграції теоретичних основ радіоелектронної розвідки з практичним досвідом розробки реальних технічних пристроїв, що дозволяє сформувати у майбутніх фахівців не лише розуміння принципів функціонування систем моніторингу радіоефіру, а й здатність самостійно проєктувати та реалізовувати подібні рішення, оперуючи обмеженими ресурсами навчальної лабораторії.

Відповідно до мети виокремлено наступні *завдання дисципліни*:

- формування системного розуміння технічних та фізичних засад, як от, поширення радіохвиль, принципів модуляції сигналів та методів їхнього виявлення у складній електромагнітній обстановці;
- розвиток практичних компетентностей у галузі проєктування апаратних систем на базі сучасних мікроконтролерів із повноцінною інтеграцією радіочастотних модулів та периферійних пристроїв;
- оволодіння методологією розробки програмного забезпечення для вбудованих систем, використовуючи алгоритми цифрової обробки сигналів та машин станів;

- набуття досвіду роботи з реальним обладнанням радіоелектронної розвідки в умовах, максимально наближених до професійної діяльності;
- формування критичного мислення щодо вибору технічних рішень, а також здатності до аналізу компромісів між функціональними можливостями, вартістю реалізації та експлуатаційними характеристиками систем.

Зміст курсу структуровано у вигляді трьох модулів, що забезпечують виконання принципу послідовності та поступовості у поданні навчального матеріалу від фундаментальних теоретичних основ до комплексних практичних завдань із розробки функціональних підсистем детектора безпілотних систем.

Перший змістовий модуль присвячено теоретичним основам радіоелектронної розвідки та включає вивчення фізичних принципів поширення електромагнітних хвиль, класифікації методів модуляції сигналів, архітектури сучасних систем зв'язку безпілотних апаратів та основних підходів до їх виявлення.

Другий змістовий модуль зосереджено на апаратних аспектах побудови систем моніторингу і охоплює принципи роботи радіочастотних приймачів, особливості проектування антенно-фідерних систем, вибір елементної бази та конструювання пристроїв.

Третій змістовий модуль присвячено програмній реалізації алгоритмів обробки сигналів та включає методи цифрової фільтрації, техніки виявлення характерних ознак відеосигналів, організацію керування апаратними компонентами через послідовні інтерфейси та побудову користувацького інтерфейсу.

Теоретичний компонент (лекції) змісту дисципліни побудовано за принципом від загального до конкретного, коли теоретичний матеріал супроводжується демонстрацією роботи реального пристрою й аналізом технічних рішень, ухвалених під час його розробки. Практичний же компонент організовано у формі лабораторних занять, що передбачають безпосередню

роботу здобувачів освіти з обладнанням радіомоніторингу, програмування мікроконтролерів та дослідження характеристик радіосигналів.

Послідовність вивчення матеріалу та розподіл годин між різними формами роботи представлена у табл.2.1.

Таблиця 2.1

Зміст та структура вибіркової навчальної дисципліни «Основи розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем»

№ з/п	Тема заняття	Тип	Год.	Зміст
Змістовий модуль 1. Теоретичні основи радіоелектронної розвідки				
1	Основи радіоелектронної розвідки та електронної боротьби	Лекція	2	Поняття РЕР, структура систем електронної боротьби, пасивні методи локації, класифікація загроз від БПЛА
2	Фізичні основи поширення радіохвиль та принципи модуляції	Лекція	2	Електромагнітний спектр, характеристики поширення у різних діапазонах, типи модуляції (AM, FM, PSK, QAM), методи розширення спектра
3	Типологія та принципи функціонування сучасних безпілотних систем	Лекція	2	Канали управління та телеметрії, системи передачі відео (аналогові та цифрові), протоколи CrossFire та ExpressLRS, стандарти відео PAL/NTSC
4	Методи виявлення та ідентифікації радіосигналів	Лекція	2	Спектральний аналіз, методи пеленгації, радіочастотні відбитки, застосування машинного навчання для класифікації сигналів
Змістовий модуль 2. Апаратні аспекти побудови систем радіомоніторингу				
5	Апаратна архітектура систем радіомоніторингу	Лекція	2	Приймачі SDR, супергетеродинні приймачі, вибір антен, мікроконтролери для обробки сигналів, інтеграція компонентів
6	Знайомство з обладнанням радіомоніторингу	Лабораторне заняття	2	Огляд детектора БПЛА, вивчення компонентів, ознайомлення з інтерфейсом керування, базові вимірювання рівня сигналу

Продовження табл.2.1

7	Сканування радіочастотного спектра	Практичне заняття	2	Налаштування параметрів сканування, аналіз спектрограм, виявлення джерел випромінювання, документування результатів
8	Виявлення та класифікація відеосигналів БпЛА	Практичне заняття	2	Ідентифікація аналогових відеосигналів за характерними ознаками, налаштування на виявлені частоти, перевірка синхронізації
Змістовий модуль 3. Програмна реалізація алгоритмів обробки сигналів				
9	Основи програмування мікроконтролерів STM32	Лекція	2	Архітектура ARM Cortex-M, HAL бібліотека, організація проєкту, налаштування периферії через STM32CubeMX
10	Послідовні інтерфейси передачі даних	Лекція	2	Протоколи SPI, I2C, UART, часові діаграми, організація обміну даними з радіочастотними модулями
11	Програмування базових функцій керування приймачами	Лабораторне заняття	4	Ініціалізація інтерфейсів, налаштування частоти приймачів, зчитування RSSI, реалізація функцій сканування спектра
12	Алгоритми цифрової обробки сигналів для виявлення відео	Лекція	2	АЦП та демодуляція, методи виявлення синхроімпульсів, кореляційний аналіз, динамічне порогоування
13	Реалізація алгоритмів верифікації відеосигналів	Практичне заняття	4	Програмування АЦП з DMA, обробка буферів даних, пошук характерних паттернів PAL/NTSC, налагодження алгоритмів
14	Організація машини станів та асинхронної обробки	Лекція	2	Патерн машини станів, обробка подій, неблокуючі алгоритми, архітектура багатокомпонентних систем
15	Інтеграція підсистем та фінальне тестування	Практичне заняття	4	Об'єднання модулів сканування та ідентифікації, налаштування взаємодії з дисплеєм, комплексне тестування функціональності
Разом:			36	

Другий підхід, як зазначалося вище, полягає у включенні окремих тем чи змістових модулів з основ розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем до складу вже існуючих курсів комп'ютерного циклу, які викладаються в закладах фахової передвищої освіти для здобувачів ІТ-спеціальностей. Такий шлях є особливо доцільним в обмежених умовах для введення нових вибіркових предметів, оскільки дозволяє органічно вплести тематику радіоелектронної розвідки в наявну структуру програм дисциплін комп'ютерного циклу. Схема інтеграції розробленого курсу в існуючі навчальні дисципліни представлена на рис. 2.1.

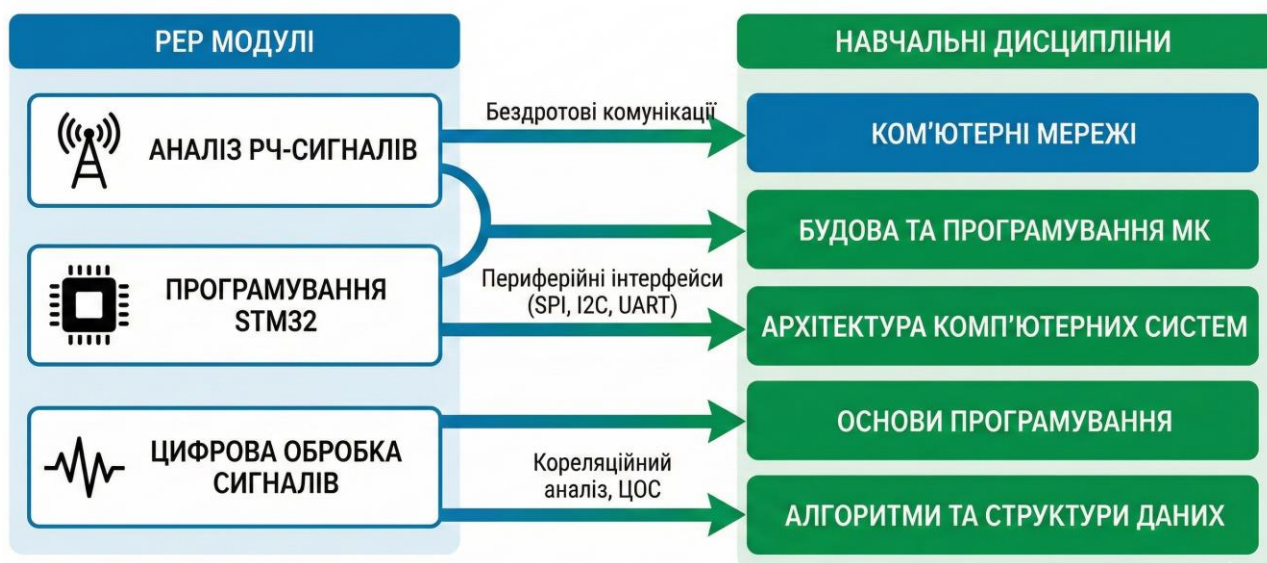


Рис. 2.1. Схема інтеграції тем із основ розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем в дисципліни комп'ютерного циклу

Зрештою, подібний модульний підхід забезпечує неабияку гнучкість впровадження методики, дозволяючи адаптувати її до специфіки конкретного коледжу, наявної матеріально-технічної бази та кваліфікації викладацького складу.

Перший і другий підхід навчання передбачає інтеграцію теоретичних знань та практичного досвіду розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення та перехоплення відеосигналів БПЛА реалізовано через систему

наскрізних зв'язків між лекційним матеріалом та лабораторними заняттями.

Теоретичні основи радіоелектронної розвідки, викладені у першому розділі, застосовуються на практичних (лабораторних) заняттях із виявлення та класифікації сигналів, де здобувачі освіти на реальному обладнанні спостерігають явища, описані в теорії. Знання ж про характеристики відеосигналів безпілотних систем і методи їхнього виявлення у радіоефірі розкриваються в лабораторних роботах із програмування алгоритмів ідентифікації, коли студенти реалізують описані теоретичні підходи у вигляді функціонального програмного коду. Матеріал про сучасні технології аналізу відеопотоків та апаратні рішення використовується як теоретична база для розуміння архітектурних рішень, прийнятих при проєктуванні реального пристрою, що детально розглядається в п.2.2 та п.2.3 даного розділу.

Принципова особливість методики навчання дисципліни полягає у тому, що кожна теоретична концепція супроводжується демонстрацією її практичної реалізації у конкретних компонентах розробленого детектора безпілотних систем. Наприклад, вивчення методів виявлення сигналів із низькою ймовірністю перехоплення на лекціях доповнюється аналізом програмного коду алгоритмів сканування спектра, які застосовуються у реальному пристрої, а теоретичні основи цифрової обробки сигналів безпосередньо пов'язуються з конкретною реалізацією програмних модулів демодуляції та верифікації відеосигналів. Така організація навчального процесу, забезпечуючи безперервний зворотний зв'язок між абстрактними концепціями та їхнім матеріальним втіленням, значно підвищує глибину розуміння матеріалу і формує цілісне бачення процесу створення складних технічних систем від ідеї до працюючого прототипу.

Педагогічна новизна розробленої методики навчання розробці засобів протидії БПЛА полягає у синергії кількох інноваційних підходів до організації освітнього процесу в сфері радіоелектронної розвідки.

По-перше, методика навчання дисципліни ґрунтується на використанні *реального технічного пристрою*, що пройшов апробацію у дійсних умовах за

участі військових підрозділів, як основного навчально-практичного засобу. Це дає можливість вивести навчання за межі симуляцій і демонстраційних стендів та надає можливість студентам працювати з обладнанням, яке довело свою ефективність у вирішенні актуальних прикладних завдань.

По-друге, інтеграція *проектного підходу* із традиційними формами навчання через послідовне залучення здобувачів освіти до процесу створення компонентів системи радіомоніторингу забезпечує формування не лише теоретичних знань, але й практичних навичок інженерної діяльності, включаючи вміння ухвалювати технічні рішення в умовах обмежених ресурсів та об'єктивних компромісів між функціональністю та простотою реалізації.

Істотну новизну складає практико-орієнтований підхід до викладання програмування вбудованих систем, адже матеріал подається через призму конкретної прикладної задачі радіоелектронної розвідки (п. 2.3) замість абстрактного вивчення можливостей мікроконтролерів. Здобувачі освіти вже з першого заняття усвідомлюють практичне призначення кожного програмного модуля та бачать його місце у загальній архітектурі системи, що значно підвищує мотивацію до засвоєння складного технічного матеріалу. Іншим важливим елементом новизни є систематичне використання методології зворотної інженерії при аналізі наявних технічних рішень, що формує у студентів здатність до самостійного вивчення й адаптації комерційних компонентів для специфічних завдань, а не лише розробки систем з нуля за наявними специфікаціями. Така підготовка, будучи особливо цінною в умовах швидкого розвитку технологій та постійної появи нових апаратних платформ, також дозволяє випускникам сформувати універсальні навички роботи з недокументованими системами та формує здатність до швидкого освоєння нових технічних рішень.

Ефективна реалізація методики навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки вимагає створення комплексу, зокрема *педагогічних умов*, які забезпечують системність, послідовність та практичну спрямованість освітнього процесу.

У науковій літературі вчені (Загородня, 2020; Шліхта, 2024;) зазвичай

оперують розмаїтими класифікаціями умов, зокрема педагогічними, організаційно-педагогічними, психолого-педагогічними, соціально-педагогічними чи організаційними, які, своєю чергою, поділяються на організаційно-методичні та організаційно-педагогічні. За визначенням Т. Вдовичин «Організаційно-педагогічні умови — це сукупність факторів, що забезпечують регулювання, взаємодію об'єктів і явищ педагогічного процесу задля досягнення поставленої мети, вдосконалюють міжособистісні стосунки учасників педагогічного процесу для розв'язання конкретних дидактичних завдань, а також сприяють активізації навчально-пізнавальної діяльності майбутніх фахівців, їхньої самостійності, ініціативності, професійного інтересу» (Вдовичин, 2013). Якщо організаційно-педагогічні умови здебільшого акцентують увагу на загальних чинниках регулювання освітнього процесу та міжособистісній комунікації його суб'єктів, то організаційно-методичні умови значно предметніше окреслюють саме змістове та процесуальне наповнення навчання.

За визначенням Л. Загородньої, організаційно-методичні умови — це «сукупність об'єктивних можливостей освітнього змісту, методів, організаційних форм та видів діяльності студентів, які сприяють ефективному впровадженню моделі формування їх готовності до забезпечення якості освітнього процесу в закладах освіти» (Загородня, 2020, с.38). Саме такий ракурс видається більш релевантним для нашого дослідження, оскільки методика навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки, по суті, вимагає гранично чіткої детермінації конкретних інструментів, форм і видів діяльності здобувачів освіти.

В межах даного дослідження до організаційно-методичних умов, що сприятимуть ефективному навчанню здобувачів розробці засобів визначення та перехоплення відосигналів БПЛА у ЗВПО належать:

- 1) використання навчального матеріалу, що поєднує теорію та практичні завдання;
- 2) застосування активних та інтерактивних методів та форм навчання

- (проекти, лабораторні роботи, кейси, моделювання процесів), що стимулюють зацікавленість та мотивацію студентів;
- 3) інтеграція сучасних технологій і засобів навчання (електронні ресурси, вебплатформи, програмне забезпечення) для залучення студентів до активної діяльності;
 - 4) використання прототипу розробленого пристрою та навчально-методичних матеріалів (освітнього вебресурсу, методичних вказівок до виконання практичних та лабораторних занять) для практичного відпрацювання навичок і підтримки внутрішньої мотивації навчання;
 - 5) організація системи контролю та зворотного зв'язку для оцінювання результатів практичних робіт та стимулювання навчально-пізнавальної діяльності.

Перша організаційно-методична умова, що полягає у *використанні навчального матеріалу з гармонійним поєднанням теорії та практики*, зумовлена потребою сформуванню у студентів цілісне бачення розробки апаратно-програмних комплексів радіоелектронної розвідки. Йдеться про проходження шляху від постановки технічного завдання до випробувань готового виробу в польових умовах. Структура змісту навчання має забезпечувати поступовий перехід від засвоєння абстрактних концепцій до їхнього втілення у функціональні підсистеми, а згодом, і в завершений технічний пристрій. При цьому важливою є багаторівнева організація контенту, завдяки якій здобувачі на кожному етапі усвідомлюють як специфіку реалізації дрібних компонентів, так і їхню роль у загальній архітектурі системи.

Друга організаційно-методична умова передбачає *впровадження активних та інтерактивних форм навчання*, зокрема проєктів, кейсів та моделювання процесів, що суттєво підживлює зацікавленість студентства. В основі освітнього процесу лежить проєктний підхід, згідно з яким практичні заняття вибудовуються як послідовні кроки зі створення працюючого прототипу детектора дронів. На відміну від класичних лабораторних, де кожен дослід є відірваним від інших, ця методика спирається на принцип інкрементальної

розробки: кожне нове завдання логічно впливає з попереднього, поступово нарощуючи функціонал пристрою. Такий підхід не лише відточує технічні навички, а й сприяє розвитку системного мислення та вміння планувати складні інженерні проєкти. Зрештою, в кінці курсу студенти отримують не ряд розрізнених звітів, а реальний працюючий прилад, що наочно підтверджує їхню професійну спроможність.

Третя організаційно-методична умова – *інтеграція сучасних технологій* – вимагає залучення електронних ресурсів та спеціалізованого програмного забезпечення для заохочення діяльності здобувачів освіти. Матеріально-технічна база для виконання практичних і лабораторних робіт повинна поєднувати апаратні складові для радіомоніторингу та інструментарій для їхнього налагодження. Важливо зазначити, що слід орієнтуватися на використання загальнодоступних компонентів та безкоштовного програмного забезпечення, що дозволяє організувати якісне навчання навіть за умови низького фінансування коледжів. Детальний перелік рекомендованих засобів із відповідним обґрунтуванням наведено у таблиці 2.2.

Четверта умова, що стосується *безпосереднього використання розробленого прототипу пристрою, освітнього вебресурсу та методичних рекомендацій*, є основою для напрацювання практичних навичок. Як основний навчальний засіб виступає апаратно-програмний комплекс для перехоплення відеосигналів безпілотників, що був апробований військовими та був схвалений до використання. Це дозволяє вивести навчання за межі сухих симуляцій, даючи студентам змогу працювати з технікою, що вирішує справжні прикладні задачі. До навчальних матеріалів входять вебресурс із покроковими інструкціями, методичні вказівки та повна технічна документація, включаючи схеми й вихідні коди. Така організація процесу дає змогу кожному студенту опановувати матеріал у власному темпі, за потреби повертаючись до найбільш складних частин конструкції.

Таблиця 2.2

Перелік технологій та засобів навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем

Категорія засобів	Конкретні технології/інструменти	Призначення та обґрунтування
Апаратні платформи	Мікроконтролери STM32F4xx, плата розробки WeAct Black Pill або аналоги	Забезпечують базу для практичної розробки вбудованих систем; високий рівень підтримки виробника, доступність документації та широка поширеність у промисловості
Радіочастотні модулі	Приймачі RX5808 (5.8 ГГц), модулі на базі TA8804F (1.2 ГГц), антени з круговою поляризацією	Формують апаратну основу системи виявлення; використання комерційних компонентів дозволяє зосередитися на алгоритмічній частині без необхідності розробки радіочастотних схем з нуля
Допоміжне вимірювальне обладнання	USB-осцилографи, аналізатори спектра на базі SDR (RTL-SDR, HackRF)	Дозволяють здобувачам освіти візуалізувати радіосигнали та верифікувати роботу розроблених алгоритмів; SDR-платформи забезпечують доступну альтернативу дорогому професійному обладнанню
Середовища розробки ПЗ	Visual Studio Code з PlatformIO, STM32CubeIDE, STM32CubeMX	Забезпечують повний цикл розробки від конфігурації апаратури до написання коду та налагодження; безкоштовність та підтримка сучасних інструментів підвищення продуктивності (AI-асистенти, автодоповнення)
Мови програмування	C++ для мікроконтролерів, Python для прототипування алгоритмів	C++ забезпечує ефективність виконання на обмежених ресурсах вбудованих систем; Python дозволяє швидко перевіряти концепції алгоритмів перед їх портуванням на мікроконтролер
Інструменти моделювання та аналізу	GNU Radio для моделювання радіосистем, MATLAB/GNU Octave для аналізу сигналів	Дозволяють досліджувати поведінку алгоритмів на синтетичних даних перед роботою з реальним обладнанням; візуалізація допомагає розуміти складні концепції обробки сигналів
Системи контролю версій	Git з репозиторіями на GitHub/GitLab	Формують культуру професійної розробки, дозволяють відстежувати зміни в коді та співпрацювати в команді; навички роботи з Git є базовими для будь-якого сучасного розробника
Засоби проєктування корпусів	Autodesk Fusion 360 або FreeCAD, 3D-принтери	Забезпечують можливість створення власних корпусів для розроблених пристроїв; інтегрують механічне проєктування в процес створення технічних систем
Платформи реверс-інженерії	Ghidra для аналізу програмного забезпечення	Дозволяють вивчати функціонування існуючих систем без доступу до вихідного коду; формують навички адаптації комерційних компонентів до специфічних завдань

Четверта умова, що стосується *безпосереднього використання розробленого прототипу пристрою, освітнього вебресурсу та методичних рекомендацій*, є основою для напрацювання практичних навичок. Як основний навчальний засіб виступає апаратно-програмний комплекс для перехоплення відеосигналів безпілотників, що був апробований військовими та був схвалений до використання. Це дозволяє вивести навчання за межі сухих симуляцій, даючи студентам змогу працювати з технікою, що вирішує справжні прикладні задачі. До навчальних матеріалів входять вебресурс із покроковими інструкціями, методичні вказівки та повна технічна документація, включаючи схеми й вихідні коди. Така організація процесу дає змогу кожному студенту опановувати матеріал у власному темпі, за потреби повертаючись до найбільш складних частин конструкції.

П'ята організаційно-методична умова – *налагодження системи контролю та зворотного зв'язку* – покликана об'єктивно оцінювати результати та стимулювати пізнавальний інтерес. Контроль передбачає поетапну перевірку успіхів на кожному занятті, що допомагає вчасно виявляти недоліки в розумінні теми та гнучко коригувати порядок навчання. Модулі оцінюються за критеріями їхньої функціональності, чистоти коду та здатності студента аргументувати обрані технічні рішення. Зворотний зв'язок реалізується через консультації та взаємне рецензування робіт, що не лише контролює знання, а й формує навички критичного аналізу – як власного, так і чужого продукту.

Взаємодія всіх визначених умов створює цілісну систему, яка забезпечує формування у випускників інтегрованих компетентностей на стику кібербезпеки, радіоінженерії та вбудованих систем, що дозволяє ефективно працювати в сфері протидії безпілотним загрозам.

2.2. Реалізація проєктного підходу в процесі розробки апаратної складової засобу радіоелектронної розвідки для виявлення безпілотних систем

Визначений у попередньому пункті зміст навчальної дисципліни, безперечно, передбачає застосування проєктного підходу як ключової методологічної основи формування практичних компетентностей здобувачів освіти. Проєктний підхід у навчанні ґрунтується на організації освітнього процесу навколо створення реального продукту, яким у даному випадку виступає функціональний апаратно-програмний комплекс радіоелектронної розвідки. На відміну від традиційного лабораторного практикуму, де кожне заняття є, по суті, ізольованим експериментом, проєктний підхід забезпечує наскрізну логіку навчання, коли результат кожного етапу стає ґрунтом для наступного. Здобувачі послідовно проходять повний цикл інженерної розробки — від аналізу вимог та проєктування архітектури до складання, програмування й тестування готового виробу. Такий підхід не лише підвищує мотивацію студентів завдяки усвідомленню практичної цінності виконуваної роботи, а й формує системне бачення процесу розробки технічних систем, конче необхідне для майбутньої професійної діяльності.

Задля ефективного навчання майбутніх фахівців проєктуванню та розробці засобів радіоелектронної розвідки, призначених для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем, було створено прототип пристрою та електронний освітній ресурс, що містить покрокову інструкцію з відтворення конструкції в умовах навчальних лабораторій (рис. 2.2; додаток Д). У поточному підрозділі детально розглянуто особливості реалізації кожного з етапів проєктування та розробки апаратної складової комплексу, що становлять основу практичних занять другого змістового модуля вибіркової дисципліни та можуть також бути інтегровані у зміст дисциплін комп'ютерних циклу, зокрема «Комп'ютерні системи та мережі», «Комп'ютерна радіоелектроніка» тощо.

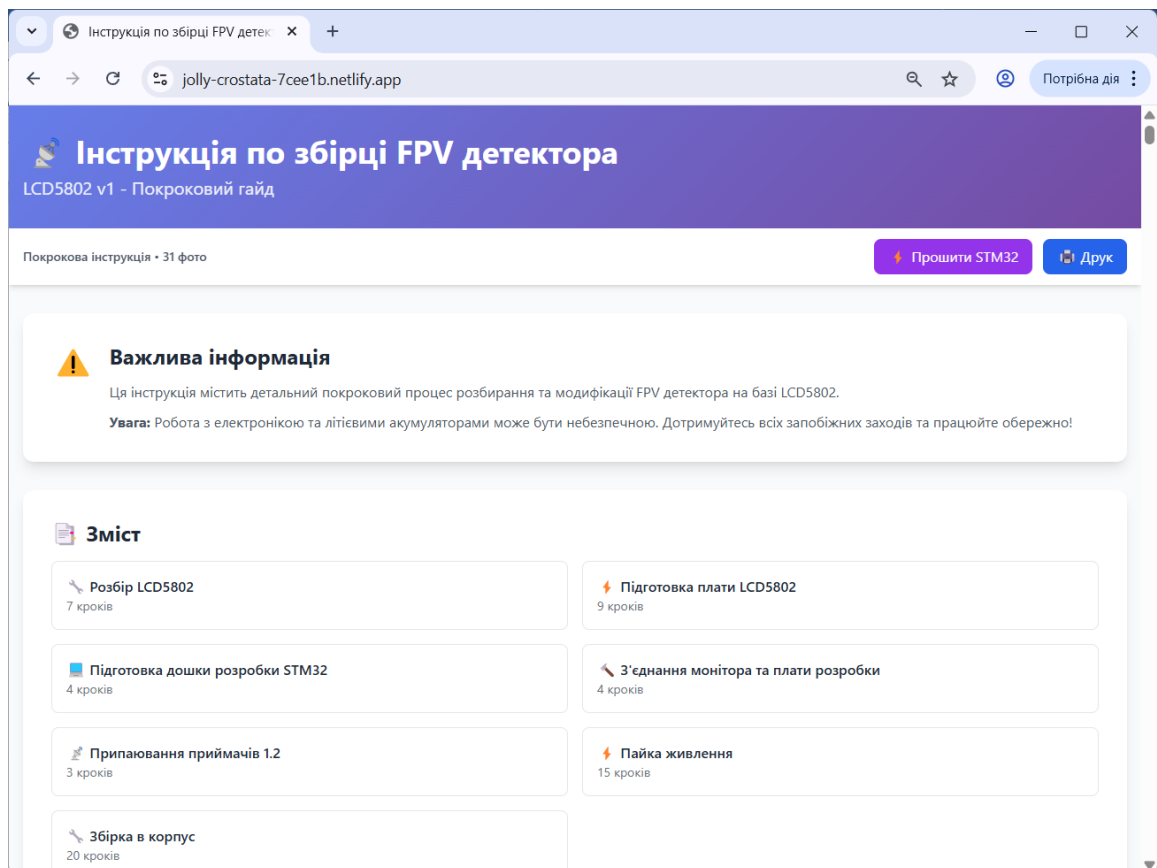


Рис. 2.2. Електронний освітній ресурс для навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки

Стрімке поширення безпілотних літальних апаратів у військовій сфері призводить до необхідності розробки ефективних засобів радіоелектронної розвідки, здатних виявляти, ідентифікувати та аналізувати радіовипромінювання таких систем. Особливу увагу серед безпілотних систем привертають дрони класу FPV, які використовують аналогову передачу відеосигналу. Як було показано в першому розділі, на відміну від цифрових систем передачі даних, аналогові відеоканали характеризуються специфічними технічними параметрами та функціонуванням у стандартизованих частотних діапазонах, що, власне, створює можливості для їхнього автоматизованого детектування засобами радіомоніторингу.

В табл. Е.1. (додаток Е) описано технічне завдання щодо розробки

апаратного комплексу для виявлення відеосигналів БАС, що включає опис мети, функціональних й нефункціональних вимог до системи, вимоги до апаратного та програмного забезпечення апаратного комплексу.

Зокрема, мета створення пристрою націлена на розробку апаратно-програмного комплексу (АПК) для пасивного радіомоніторингу, здатного в автоматизованому режимі виявляти, ідентифікувати та перехоплювати аналогові відеосигнали, що випромінюються бортовими передавачами FPV БПЛА, з урахуванням роботи у різних частотних діапазонах.

Процес створення пристрою передбачає виконання наступних етапів:

- 1) аналіз сигнального середовища;
- 2) обґрунтування частотних діапазонів для моніторингу;
- 3) розробка та/або адаптація алгоритмів виявлення сигналів-кандидатів;
- 4) розробка методики та вибір алгоритмів для достовірної ідентифікації виявленого сигналу;
- 5) розробка апаратної частини пристрою;
- 6) розробка програмного забезпечення системи;
- 7) експериментальна перевірка роботи системи.

Розроблена система повинна функціонувати як багатоканальна платформа радіомоніторингу, що забезпечує одночасне сканування спектру у двох основних діапазонах частот та паралельну верифікацію виявлених сигналів, що робить її ефективним інструментом як для навчальних цілей, так і для практичної апробації у польових умовах.

Проектування апаратної частини комплексу виявлення відеосигналів безпілотних систем здійснювалося з огляду на потребу забезпечити баланс між функціональними можливостями, технічною складністю реалізації та доступністю компонентної бази для подальшого використання в умовах навчальної лабораторії.

На рис. 2.3 подано блок-схему архітектури багатоканального пристрою, створену за допомогою сервісу mermaid.live (Рибалко & Шроль, 2025a), який

призначений для детектування, аналізу та індикації радіочастотних сигналів у двох діапазонах частот: 1.2 ГГц та 5.8 ГГц, де сама система складається із трьох основних функціональних підсистем – прийому, централізованої обробки та виведення інформації.

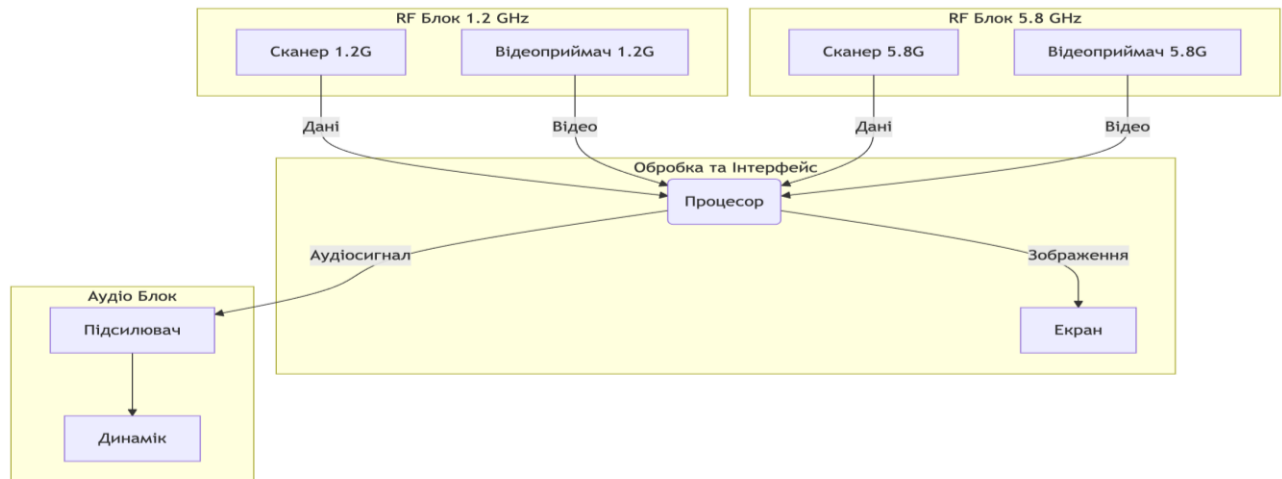


Рис. 2.3. Загальна структурно-функціональна схема системи детектування та аналізу RF-сигналів

Підсистема прийому сигналів являє собою вхідний інтерфейс пристрою і складається з чотирьох незалежних приймальних модулів, які згруповані за частотними діапазонами. Блоки на 1.2 та 5.8 ГГц, кожен з яких, включає сканер для аналізу спектру та виявлення активності, а також відеоприймач для демодуляції та захоплення відеопотоку. Сканери передають до підсистеми обробки сигнал на відповідній частоті та рівні індикатора потужності прийнятого сигналу (RSSI), тоді як відеоприймачі, своєю чергою, передають аналоговий відеопотік.

Підсистема обробки та інтерфейсу користувачів реалізована на базі центрального процесорного блоку, що виконує функції аналізу отриманих відомостей від сканерів для ідентифікації сигналів, обробки вхідних відеосигналів, контролю інтерфейсу користувача, відображення відеосигналу на

екрані та звукового сповіщення.

При практичній реалізації пристрою було вирішено використати вже наявні комерційні компоненти з подальшою їхньою адаптацією до поставлених завдань, оскільки такий підхід виявився ефективнішим з точки зору часових витрат, забезпечення необхідного рівня технічних характеристик та можливості вивчення і модифікації в лабораторних умовах студентами. Сам процес розробки було структуровано у вигляді послідовних етапів:

1. *Пошук та аналіз існуючих пристроїв.* На цьому етапі проводився огляд комерційно доступних FPV моніторів (пристрій призначений для виводу відеосигналу від БПЛА на екран) та приймачів відеосигналу щоб виявити компоненти, які будуть найкращим чином відповідають технічним вимогам проекту. Аналіз компонентів включав оцінку технічних характеристик, їх доступності в Україні та можливості модифікації вже наявних пристроїв.

2. *Визначення компонентної бази.* На основі результатів попереднього аналізу було обрано оптимальні компоненти: монітор LCD5802 з вбудованими приймачами RX5808 для діапазону 5.8 ГГц, приймачі TA8804F для діапазону 1.2 ГГц та мікроконтролер STM32F411 для реалізації алгоритмів керування та обробки сигналів.

3. *Створення схеми нового пристрою.* Це передбачало розроблення принципової схеми пристрою, яка визначає взаємозв'язки між усіма компонентами системи, включно з приймачами, мікроконтролером, процесором обробки відео, системою живлення та інтерфейсними елементами. Схема описує протоколи спілкування між компонентами, враховує необхідне живлення та можливість модифікації пристроїв для створення необхідних електричних з'єднань.

4. *Розробка програмного забезпечення.* Вона полягала у створенні програмного коду для мікроконтролера, що реалізує алгоритми сканування спектра, виявлення й ідентифікації сигналів, керування приймачами та взаємодії з процесором обробки відео, а також включала модифікацію прошивки

процесора MST703 для адаптації до визначених завдань.

5. *Проектування корпусу.* Було створено 3D-модель корпусу в середовищі Autodesk Fusion, беручи до уваги розміщення всіх електронних компонентів, забезпечення охолодження, зручності використання та захисту від зовнішніх факторів, після чого підготовлено модель до виготовлення методом 3D друку.

6. *Збірка тестового екземпляру.* Цей етап включав фізичну інтеграцію всіх компонентів, зокрема виготовлення корпусу методом 3D друку, монтаж електронних компонентів методом навісного монтажу та механічну збірку модулів у корпус із проведенням первинних тестів працездатності та налаштування системи.

Для візуалізації виявлених сигналів було обрано монітор LCD5802 (рис. 2.4), оскільки він містить набір електронних компонентів (рис. 2.5), що забезпечують основну функціональність системи при мінімальних модифікаціях. Ці компоненти монітора LCD5802 представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Склад апаратних компонентів монітора LCD5802

<i>Компонент</i>	<i>Модель/тип</i>	<i>Функціональне призначення</i>
Приймачі відеосигналу (2 шт.)	RX5808	Прийом аналогових відеосигналів у діапазоні 5.8 ГГц
Мікропроцесор обробки відео	Клон MST703	Підсилення та відображення аналогового відеосигналу на цифровому дисплеї
Підсилювач звукового сигналу	NS4268	Підсилення аудіосигналу до необхідного рівня для динаміка
Динамік		Відтворення сигналізації
Акумулятор	Li-Ion	Автономне живлення пристрою
Система живлення	На базі MP1584EN	Стабілізація напруги живлення для деяких компонентів системи включаючи заряд акумулятора



Рис. 2.4. FPV монітор LCD5802

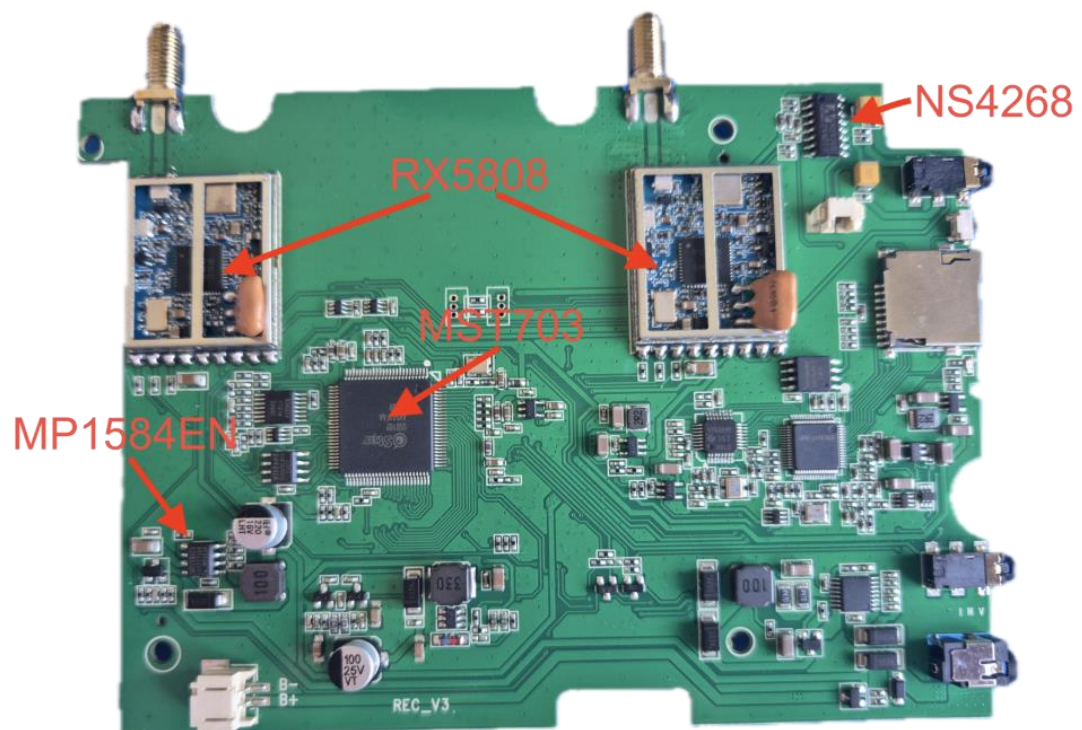


Рис. 2.5. Основна плата LCD5802

Приймачі на базі мікросхеми TA8804F (рис. 2.6), що характеризуються підтримкою широким діапазоном частот від ~ 850 МГц до ~ 2200 МГц, є критичними для забезпечення гнучкості детектування різних типів безпілотних

систем. Основними технічними недоліками цих приймачів є необхідність подачі живлення з двома різними напругами, причому одна з них порівняно висока (близько 30В) та потреба у підсиленні вихідного сигналу. Останнє частково компенсується вбудованим підсиленням в процесор MST703.



Рис. 2.6. Приймач на базі TA8804F

Для реалізації функцій керування приймачами, виявлення сигналів, управління звуковим сповіщенням та керування користувацьким інтерфейсом було використано мікроконтролер сімейства STM32, зокрема модель STM32F411, який характеризується високою роздільною здатністю аналого-цифрового перетворювача та достатньою обчислювальною потужністю. Ця платформа була обрана оскільки вона має широке застосування у комерційній вбудованій електроніці, має розвинену екосистему засобів розробки. Для спрощення процесу розробки та кінцевої збірки було застосовано існуючий комерційний пристрій - плату розробки WeAct Black Pill V2.0 (рис. 2.7), що базується на мікроконтролері STM32F411CEU6 та містить всю необхідну периферію:

- два зовнішні осцилятори: 25 МГц та 32.768 кГц;
- регулятор живлення від 5В;
- порт USB Type-C, світлодіоди та кнопки для відлагодження.

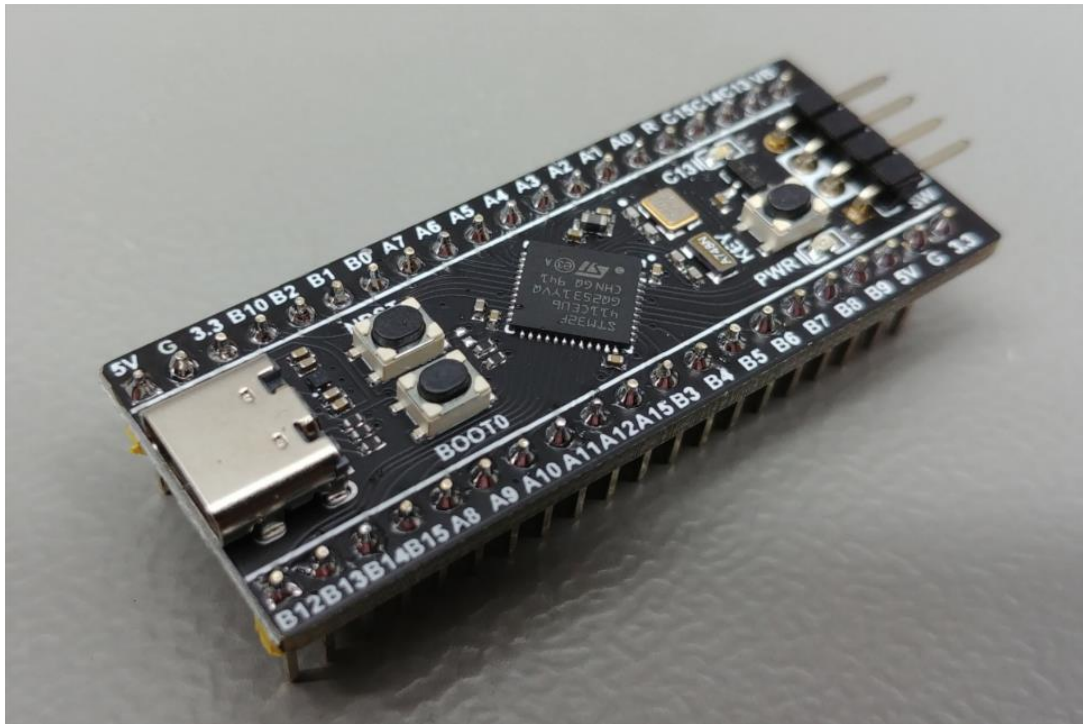


Рис. 2.7. Плата розробки WeAct Black Pill V2.0 STM32F411CEU6

Архітектура розробленого пристрою передбачає використання окремого приймача для кожного діапазону частот задля здійснення функції сканування та окремого приймача для відображення відеопотоку. Така організація, власне, дозволяє реалізувати безперервний пошук активних джерел випромінювання одночасно з перехопленням відеосигналу від ідентифікованого безпілотного апарату. Монітор LCD5802 вже має два приймачі для діапазону 5.8 ГГц, а для діапазону 1.2 ГГц необхідно буде використати два приймачі TA8804F.

Система живлення пристрою побудована за багаторівневою схемою з метою забезпечення стабільної роботи компонентів, які мають різні вимоги до напруги живлення. Базовим джерелом енергії, який забезпечує автономність роботи пристрою у польових умовах, є 2S збірка з літій-іонних акумуляторів з

номінальною напругою 7В. Система живлення LCD5802 містить необхідні компоненти для пониження напруги до 5В та її стабілізації для RX5808. Ця ж лінія живлення 5В використовується і для інших цифрових компонентів (мікроконтролер STM32, процесор MST703, приймачі TA8804F та підсилювача аудіосигналу). Для живлення TA8804F використовується імпульсний підсилювач до 28В та LC-фільтр для згладжування напруги. Фільтр необхідний для мінімізації впливу імпульсних перетворювачів на чутливі високочастотні тракти приймачів. Такий підхід дозволяє ефективно узгодити різноманітні вимоги компонентів при збереженні прийняттого коефіцієнта корисної дії. До схеми заряджання акумулятора, було додано спеціалізований USB Type-C тригера напруги для узгодження з вимогами зарядного контролера, це дозволяє продовжити час використання пристрою в польових умовах за допомогою використання звичайного павербанку.

Загальна структурна схема реального пристрою (рис. 2.8) включає всі вищеперечислені функціональні блоки у єдину систему з відповідними інтерфейсами взаємодії між компонентами. Центральним елементом організації системи виступає мікроконтролер STM32F411, який забезпечує координацію роботи всіх периферійних модулів за допомогою стандартних послідовних інтерфейсів передачі даних.

Інтерфейс взаємодії з процесором обробки відео MST703 реалізовано через універсальний асинхронний приймач-передавач (UART), що дозволяє передачу мікроконтролером команд керування відображенням і перемикання між джерелами відеосигналу. Надходячи безпосередньо на входи процесора, відеосигнали від обох пар приймачів піддаються підсиленню, фільтрації та перетворенню для подальшого виведення на рідкокристалічний дисплей, а аудіосигналізація реалізована шляхом генерації мікроконтролером прямокутного сигналу, який, потрапляючи через підсилювач потужності на динамік, гарантує достатню гучність для сповіщення оператора.

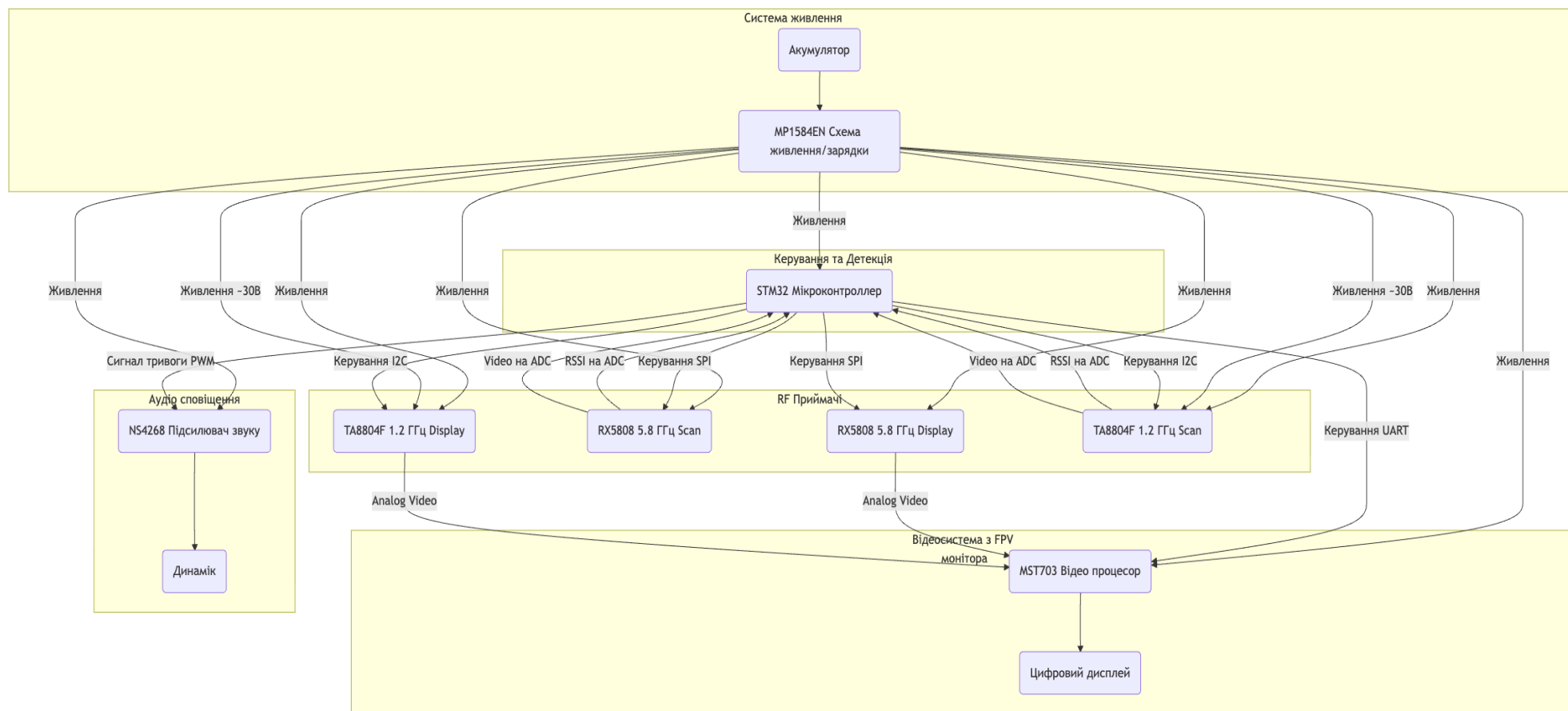


Рис. 2.8. Загальна структурна схема детектора дронів

Задля реалізації алгоритмів виявлення та ідентифікації сигналів програмним шляхом передбачено можливість аналого-цифрового перетворення сигналів від приймачів безпосередньо мікроконтролером. Виходи індикаторів потужності під'єднано до відповідних каналів вбудованого АЦП через узгоджувальні резистивні ланцюги. Така архітектура забезпечує достатню гнучкість системи і дозволяє реалізовувати алгоритми обробки без залучення додаткових спеціалізованих апаратних компонентів.

Конструктивно пристрій є компактним модулем, що об'єднує всі функціональні блоки в єдиному корпусі, спроектованому з огляду на особливості польової експлуатації, потребу в належному тепловому режимі та зручність використання. Модель (рис. 2.9), розроблена в середовищі 3D-моделювання Autodesk Fusion з подальшим виготовленням за допомогою 3D-друку, враховувала технологічні ліміти такого способу виготовлення, а також необхідність вентиляції для охолодження приймачів і компактного компонування електроніки.

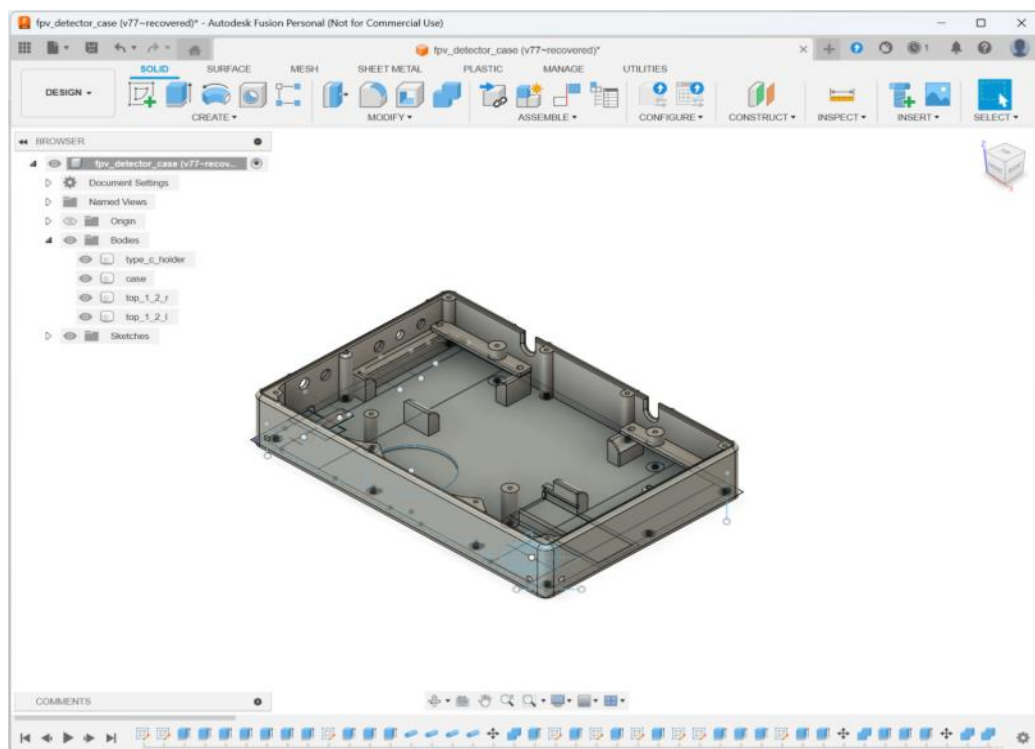


Рис. 2.9. Платформа 3D-моделювання Autodesk Fusion

Втілення окресленої архітектури в готовому виробі вимагало інтеграції таких ключових компонентів:

- монітор LCD5802;
- пара приймачів TA8804F.
- налагоджувальна плата WeAct Black Pill V2.0;
- пасивна елементна база, куди увійшли резистори для узгодження рівнів, фільтри задля електромагнітної сумісності та електролітичні конденсатори, покликані стабілізувати живлення;
- підвищувальний перетворювач, необхідний для генерації високої напруги;
- вентилятор охолодження;
- тригер напруги USB Type-C;
- захисна металева сітка для вентиляційних отворів;
- комплект з'єднувальних провідників різного перерізу;

Власне процес створення прототипу складався з двох етапів. Першим був друк корпусу на 3D-принтері, який тривав близько дванадцяти годин. Другим був монтаж електроніки та фінальною механічною збіркою модулів зображеного на рис. 2.10, що зайняло сумарно ще шість-вісім годин.

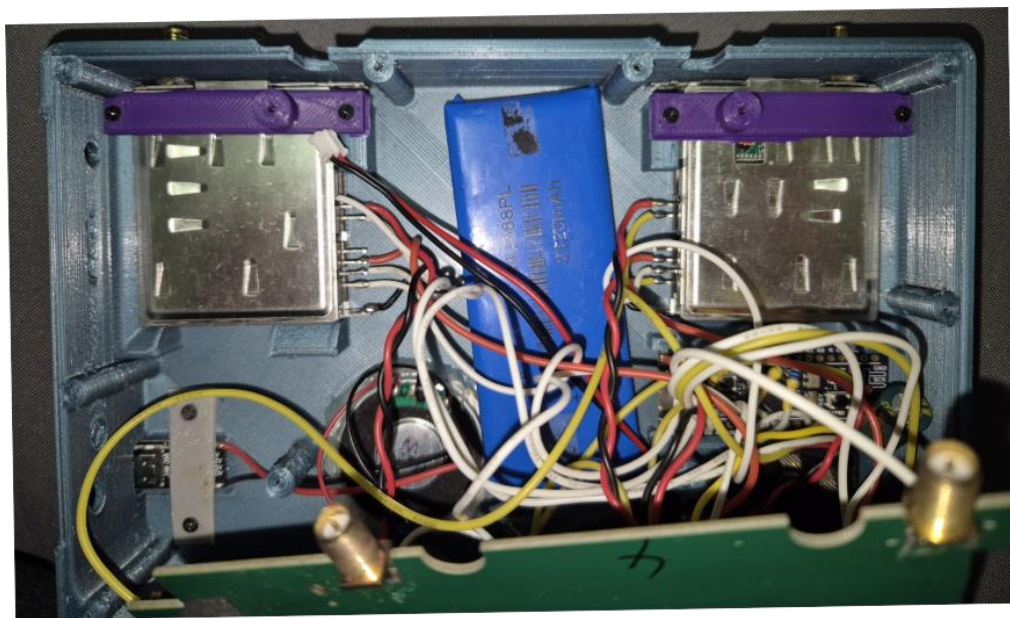


Рис. 2.10. Компоненти детектора в корпусі під час збірки

2.3. Особливості навчання програмуванню алгоритмів цифрової обробки відеосигналів та керування пристроєм

Розробка програмного забезпечення для детектора сигналів БПЛА є комплексною задачею, що вимагає від здобувачів освіти інтеграції алгоритмів цифрової обробки сигналів, керування апаратними компонентами та забезпечення зручного інтерфейсу для оператора. Програмна частина системи відіграє вирішальну роль у реалізації основних функцій пристрою, зокрема автоматичного сканування радіочастотного спектру, ідентифікації аналогових відеосигналів та керування відображенням інформації.

Опишемо особливості програмної реалізації алгоритмів цифрової обробки відеосигналів й керування апаратно-програмного комплексу, які були використані у процесі розробки пристрою.

З огляду на специфічні вимоги до продуктивності, ефективності використання обмежених апаратних ресурсів та необхідності низькорівневого доступу до периферійних пристроїв в якості основної мови розробки було обрано C++, що поєднує переваги об'єктно-орієнтованого програмування з можливістю створення високоефективного коду, критичного для задач реального часу. Мова C++ забезпечує абстракції нульової вартості, що дозволяє створювати структурований та масштабований код без втрати продуктивності, а також надає прямий контроль над пам'яттю та можливість використання низькорівневих системних функцій через сумісність із мовою C.

Виробник платформи STM32 розробив ряд програмних засобів які полегшують розробку з їх мікроконтролерами. До таких належить бібліотека апаратної абстракції HAL, яка надає стандартизований програмний інтерфейс для роботи з периферійними модулями мікроконтролера. А також, для спрощення процесу налаштування периферії та генерації початкового коду було використано інтегроване середовище STM32CubeMX (рис. 2.11), що надає графічний інтерфейс для конфігурації тактових частот, призначення функцій виводів мікроконтролера та налаштування параметрів роботи інтерфейсів

передачі даних, аналого-цифрових перетворювачів та таймерів.

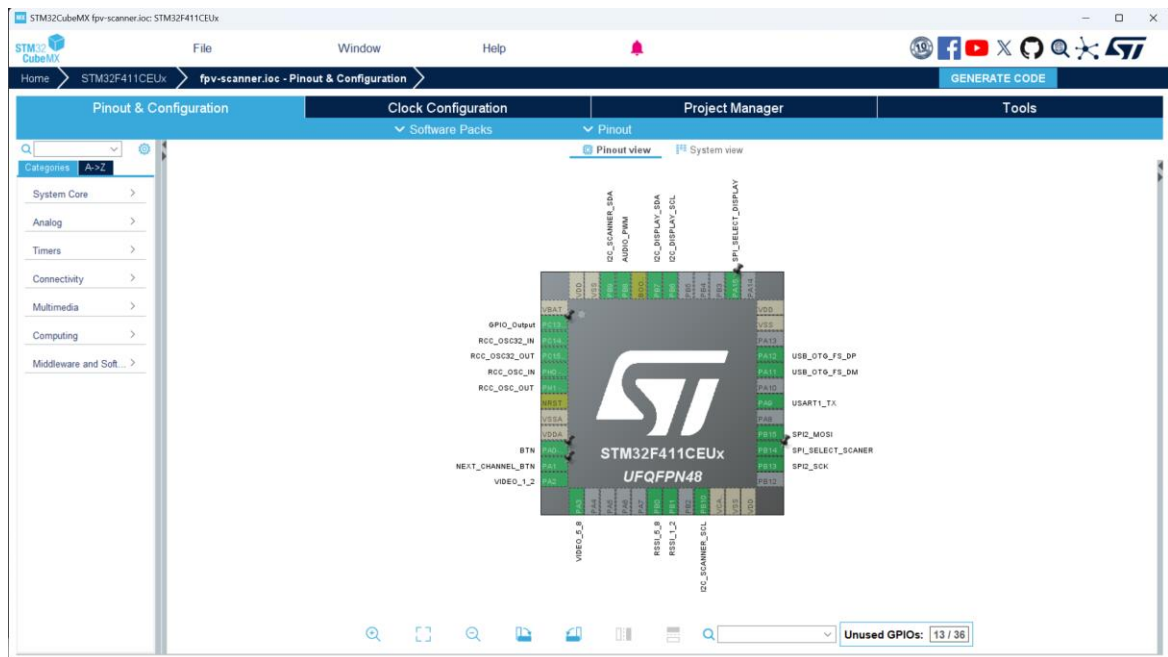


Рис. 2.11. Середовище розробки STM32CubeMX

В якості основного середовища розробки було обрано текстовий редактор Visual Studio Code з розширенням PlatformIO, оскільки він забезпечує повноцінну підтримку розробки вбудованого програмного забезпечення для мікроконтролерів сімейства STM32. Окрім цього використовувались сучасні інструменти підвищення продуктивності розробки, зокрема системи автодоповнення, генерації та агентичної розробки коду на основі штучного інтелекту. PlatformIO забезпечує автоматизоване управління залежностями проєкту, конфігурацію компілятора, процес прошивки мікроконтролера та можливості відлагодження програмного коду через стандартні апаратні інтерфейси.

Центральним патерном архітектури програмного забезпечення було використано машину станів, що забезпечує ефективну реалізацію асинхронної обробки подій від множини джерел. Такий підхід є особливо доцільним для вбудованих систем з обмеженими ресурсами, оскільки дозволяє досягти високого рівня модульності коду при збереженні детермінованості виконання та

ефективного використання процесорного часу. Кожен функціональний блок системи реалізовано як окремий автомат станів, що реагує на зовнішні події та взаємодіє з іншими блоками через чітко визначені інтерфейси.

Особливу увагу при проєктуванні було приділено організації взаємодії з апаратними компонентами через механізм прямого доступу до пам'яті (DMA), який дозволяє периферійним модулям мікроконтролера здійснювати обмін даними з оперативною пам'яттю без залучення центрального процесора. Такий підхід є критичним для забезпечення можливості одночасного виконання обчислювально інтенсивних операцій цифрової обробки сигналів та асинхронного збору даних від аналого-цифрових перетворювачів, таких як, оцифровування аналогових сигналів від приймачів. Завдяки цьому вимірювання здійснюється у фоновому режимі з автоматичним збереженням результатів у буферну пам'ять, що дозволяє процесору паралельно виконувати аналіз раніше отриманих даних.

Процес розробки програмного забезпечення було організовано за ітераційною методологією TDD з послідовним нарощуванням функціональності та безперервною верифікацією коректності реалізації. На початковому етапі було створено шар апаратної абстракції у вигляді набору класів C++, що інкапсулюють взаємодію з конкретними апаратними компонентами системи. Для приймачів радіочастотних сигналів було розроблено уніфікований програмний інтерфейс, який дає змогу здійснювати налаштування частоти, зчитування рівня потужності прийнятого сигналу та перемикання між різними режимами роботи, незалежно від типу використовуваного приймача. Кожен компонент шару апаратної абстракції було протестовано окремо, що забезпечило раннє виявлення та усунення помилок у низькорівневому коді.

Після підтвердження коректності роботи апаратної абстракції було розпочато розробку основних алгоритмічних компонентів системи. Для пошуку відеосигналів застосовувалися алгоритми обробки, засновані на теоретичних основах радіоелектронної розвідки, що забезпечують автоматичну

ідентифікацію відеосигналів серед складної радіочастотної обстановки. Ефективність роботи системи значною мірою визначається якістю реалізації алгоритмічної частини, яка повинна гарантувати високу ймовірність правильного виявлення при мінімізації кількості хибних спрацювань.

Алгоритм сканування радіочастотного спектру та первинного виявлення факту передачі сигналу на заданій частоті побудовано за принципом послідовного обходу діапазону частот із фіксованим кроком, що становить половину очікуваної ширини смуги аналогового відеосигналу. Такий вибір кроку сканування гарантує виявлення сигналу, незалежно від точного співпадіння його центральної частоти з частотою налаштування приймача. На кожній частоті здійснюється вимірювання рівня потужності прийнятого сигналу через зчитування значення індикатора RSSI, що надається приймачем, а отримані значення потужності накопичуються у буфері вимірювань, що дозволяє використати методи статистичної обробки для подальшого аналізу та виявлення сигналів.

Ключовою задачею алгоритму первинного виявлення є відокремлення сигналів від фонового випромінювання та завад, що присутні у радіоефірі. Для розв'язання цієї задачі застосовано метод динамічного порогу, що базується на аналізі статистичних характеристик спектральної густини потужності у контрольованому діапазоні. На відміну від простого порівняння з фіксованим порогом, динамічний підхід адаптується до змінних умов радіочастотної обстановки, включно з варіаціями рівня шуму та наявністю потужних сторонніх джерел випромінювання. Оцінка рівня фонового шуму здійснюється через обчислення медіанного значення потужності у ковзному вікні частот, забезпечуючи стійкість до викидів, спричинених окремими потужними сигналами.

Після виявлення потенційних джерел відеосигналів, для підвищення точності виявлення застосовувався аналіз не окремих відліків, а неперервних областей частотного діапазону, де рівень сигналу стабільно перевищує

пороговий, тобто по суті відбувалось «групування» сигналів. Ширина виявленої області порівнюється з очікуваним діапазоном ширини смуги аналогового відеосигналу, яка становить від 10 до 28 МГц, залежно від конкретної реалізації системи передачі, і якщо параметри виявленої частотної області відповідають цьому критерію, цей сигнал передається на наступний етап обробки для детальної верифікації.

Алгоритм ідентифікації аналогового відеосигналу призначений для підтвердження, що виявлений сигнал справді є відео-передачею, а не стороннім сигналом, як от стільниковий GSM, WiFi, чи КТРЛ БПЛА, у тому ж діапазоні частот. Як правило, використовують два взаємодоповнюючі методи верифікації, які забезпечують високу достовірність ідентифікації при різних умовах прийому сигналу: *апаратний* та *програмний* метод верифікації. Розглянемо особливості кожного із вказаних методів, враховуючи роботи (Nawaz та Alzahrani, 2023), а також (Нагорнюк, 2024).

Апаратний метод верифікації базується на використанні вбудованих можливостей спеціалізованих мікросхем приймачів відеосигналу, що містять апаратну логіку детектування синхроімпульсів відеостандартів композитного відео. Критеріями підтвердження наявності відео виступають: достатній рівень потужності прийнятого сигналу та встановлення апаратного прапорця синхронізації, що генерується внутрішньою логікою приймача при детектуванні характерної структури синхроімпульсів рядкової та кадрової розгортки. Вказаний метод характеризується високою швидкодією та надійністю, оскільки застосовує спеціалізовані схеми, оптимізовані виробником для задачі детектування відеосигналів, але недоліком такого методу є необхідність додаткової апаратної частини, яка, на жаль, відсутня у більшості поширених приймачів, включаючи обрані нами RX5808 та TA8804F.

Програмний метод верифікації зазвичай застосовується як резервний механізм, коли апаратна перевірка не дає однозначного результату, для додаткового підтвердження виявлення або за неможливості використати

апаратну перевірку. Цей метод передбачає програмний аналіз часової структури сигналу. Аналогічно до апаратного методу, відбувається детектування періодичних синхроімпульсів з чітко визначеними часовими параметрами. Алгоритм здійснює збір відліків сигналу протягом часового інтервалу, достатнього для захоплення кількох повних кадрів відео, після чого проводиться пошук характерних періодичних структур.

Через відсутність апаратної підтримки в обраних приймачах було використано програмний метод ідентифікації. У реалізованому алгоритмі ідентифікації, для надійного детектування синхроімпульсів кадрової розгортки застосовано метод кореляційного аналізу на основі обрахунку відстані Кука, що дозволяє виявити періодичні компоненти навіть за наявності значного рівня шумів. Критерієм підтвердження наявності відеосигналу є знаходження заданої кількості послідовних синхроімпульсів, що зустрічаються з інтервалами, які відповідають часовим параметрам відеостандартів (PAL/NTSC) у межах допустимої похибки.

Розробка алгоритмів пошуку та ідентифікації сигналів аналогового відеозв'язку здійснювалася за методологією прототипування із використанням високорівневої мови програмування Python для швидкої перевірки концепцій та налаштування параметрів на реальних даних, отриманих від приймачів (додаток Ж).

Після підтвердження працездатності алгоритми були портовані на мову C++ із оптимізацією для виконання на мікроконтролері з обмеженими обчислювальними ресурсами. Особливу увагу при портуванні було приділено ефективному використанню пам'яті та мінімізації обчислювальної складності критичних секцій коду задля забезпечення роботи у реальному часі, наприклад однією з таких оптимізацій є використання заздалегідь виділених буферів пам'яті, що дозволяє уникнути динамічного виділення пам'яті та необхідності її очистки.

Налаштування параметрів алгоритмів, зокрема порогових значень для

виявлення та критеріїв прийняття рішення, здійснювалося ітераційно на основі аналізу результатів системи в реальних умовах з різними типами сигналів та рівнями завад. Конфігурація алгоритму пошуку сигналів допускає, втім, певну кількість хибних спрацювань, оскільки вони ефективно фільтруються наступним етапом верифікації, що забезпечує загальну високу точність роботи системи. Остаточна оптимізація параметрів проводилася з допуском невеликої кількості хибнопозитивних спрацювань, щоб гарантувати високу ймовірність виявлення справжніх відеосигналів, навіть у випадках слабого прийому, що є більш пріоритетним для використання у військових цілях.

Ще одним важливим аспектом розробки було забезпечення взаємодії з процесором обробки відео MST703, що вимагало проведення зворотної інженерії його програмного забезпечення. Задля цього було використано фреймворк Ghidra (рис. 2.12), який надає можливості дизасемблювання та декомпіляції машинного коду.

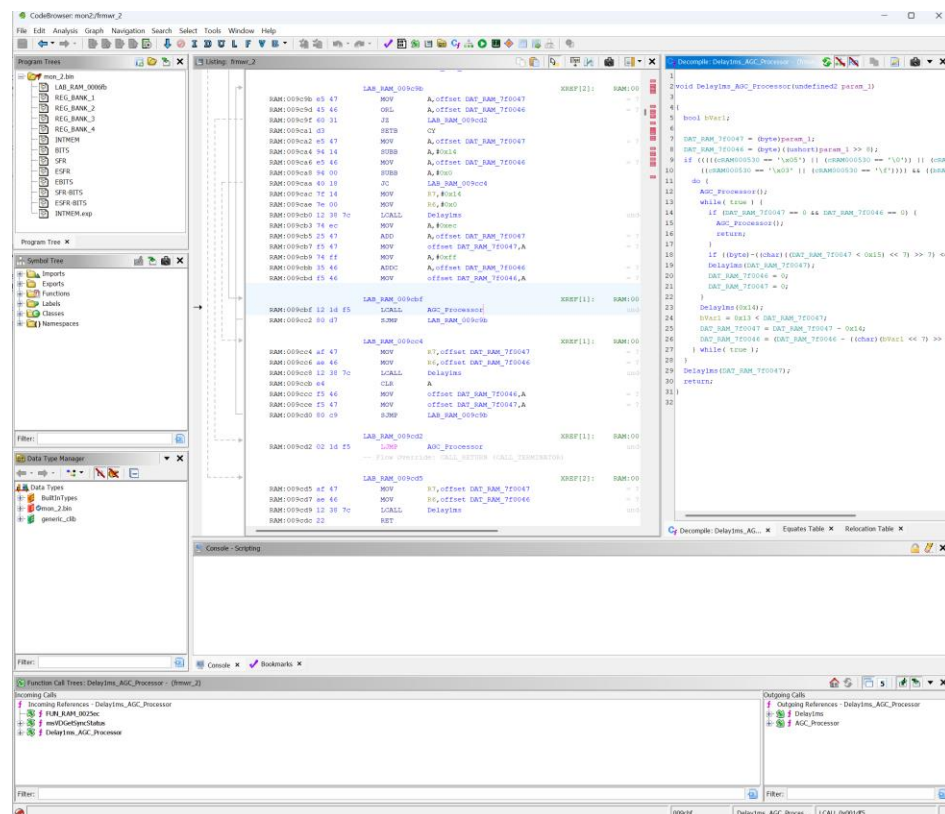


Рис. 2.12. Фреймворк Ghidra для реверс-інженірингу програмного коду

Процесор MST703 базується на шістнадцятибітній архітектурі Intel 8051 з розширенням адресного простору до двадцяти чотирьох біт через механізм банків коду, що, на жаль, створило додаткові складнощі при аналізі, оскільки стандартні інструменти не підтримують таке розширення. Для вирішення цієї проблеми було розроблено спеціалізований скрипт мовою Python, котрий коригує зв'язки у дизасембльованому коді для забезпечення коректного відображення міжмодульних викликів.

В результаті, було створено модифікований код для процесора MST703 що містить обробку команд від мікроконтролера STM32, що надходять через послідовний інтерфейс. Цей код реалізує функціональність відображення інформації про виявлені частоти безпосередньо на екрані у вигляді текстових повідомлень, а також забезпечує можливість програмного перемикання між різними джерелами відеосигналу для виведення зображення від обраного приймача. Додатково було здійснено оптимізацію алгоритмів синхронізації відеосигналу для підвищення стабільності відображення та видалено функції, що не відповідають специфіці використання пристрою як детектора безпілотних систем.

Описані вище рекомендації до написання програм для реалізації алгоритмів виявлення та перехоплення відеосигналів БПЛА можуть використовуватися на практичних заняттях із програмування здобувачів ЗФПО.

РОЗДІЛ III

ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ РОЗРОБЦІ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ І ПЕРЕХОПЛЕННЯ ВІДЕОСИГНАЛІВ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ У ЗАКЛАДАХ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ

3.1. Апробація результатів дослідження та їх аналіз

Апробація результатів дослідження здійснювалася у двох напрямках: технічна апробація розробленого пристрою за участі військових підрозділів та педагогічна апробація в закладах фахової передвищої освіти з інтеграцією у викладання дисциплін комп'ютерного циклу.

Технічна апробація пристрою для виявлення та перехоплення відеосигналів FPV-дронів проводилася протягом 2024-2025 років у співпраці з військовими підрозділами, котрі виконують завдання з протидії безпілотним системам противника. Польові випробування, здійснювані в реальних умовах електромагнітної обстановки на відкритій місцевості, дозволили оцінити працездатність пристрою поза межами лабораторного середовища. Під час випробувань перевірялися ключові функціональні характеристики системи: здатність до виявлення аналогових відеосигналів у діапазонах 1.2 ГГц та 5.8 ГГц, точність вимірювання рівня сигналу RSSI, коректність роботи алгоритмів автоматичного сканування та верифікації відеопотоку, а також стабільність функціонування при тривалому використанні. Тестування проводилося із залученням різних типів FPV-дронів, що застосовуються на полі бою.

Результати польових випробувань підтвердили відповідність розробленого пристрою технічним вимогам, визначеним у технічному завданні. Система продемонструвала надійне виявлення активних відеопередавачів на відстанях до п'яти кілометрів, а час автономної роботи від вбудованого акумулятора становив понад 4 години при активному використанні всіх функцій, що відповідає вимогам для польового застосування. Пристрій зберігав працездатність при температурах від -5 до +35 градусів за Цельсієм та в умовах підвищеної

вологості, а за результатами апробації військовими операторами були надані рекомендації щодо вдосконалення ергономіки інтерфейсу користувача й оптимізації алгоритмів фільтрації завад від інших джерел радіовипромінювання, які було враховано при доопрацюванні програмного забезпечення.

Апробація методики навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки проводилася протягом 2024/2025 н.р. та I семестру 2025/2026 н.р. на базі Відокремленого структурного підрозділу «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП» для спеціальностей 113 «Прикладна математика», 122 «Комп'ютерні науки» та Млинівського технолого-економічного фахового коледжу для спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Апробація методики навчання розробці засобів виявлення та перехоплення відеосигналів безпілотних систем у вказаних закладах здійснювалася через впровадження окремих тем, змістових модулів вибіркової дисципліни «Основи розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем», відповідного методико-технологічного забезпечення (засобу РЕР для виявлення БПЛА, вебресурсу) в рамках дисциплін комп'ютерного циклу.

Зокрема, у Млинівському технолого-економічному фаховому коледжі було апробовано методичні рекомендації щодо використання розробленого пристрою та освітній вебресурс (додаток В) із покроковою інструкцією, фото та відео демонстрацією створення засобу радіоелектронної розвідки для виявлення та перехоплення відеосигналів безпілотних систем під час проведення практичних та лабораторних занять із дисциплін «Комп'ютерна електроніка» для студентів 3-го курсу групи КІ31 (21 студент в 2025/2026 н.р.), «Комп'ютерні системи та мережі», «Комп'ютерна схемотехніка» для студентів 4 курсу групи КІ41(22 студенти в 2025/2026 н.р.). Загалом 43 здобувачів освіти.

У Рівненському технічному фаховому коледжі НУВГП було апробовано практичну роботу «Реалізація алгоритмів верифікації відеосигналів для засобу радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів

безпілотних систем» (додаток И) студентами 3-го курсу групи ПМ-3 (24 студенти, 2025/2026 н.р.) в рамках дисципліни «Захист інформації та мережева безпека», а також студентами 4-го курсу групи ПМ-4 (22 студенти, 2025/2026 н.р.) в рамках дисципліни «Створення та розвиток ІТ-продуктів». Загалом 46 здобувачів освіти, які після виконання практичних завдань виявили бажання надалі поглиблювати знання в сфері розробки засобів протидії БПЛА.

Для оцінювання ефективності розробленої методики було проведено послідовний формувальний експеримент із залученням студентів Млинівського технологічно-економічного фахового коледжу в 2025/2026 н.р. (група КІЗ1: 21 студент.; група: КІ41 22 студенти). На початку експетименту було проведено контрольне оцінювання знань здобувачів із дисциплін «Комп'ютерна електроніка» та «Комп'ютерні системи та мережі». Далі студенти навчались з включенням матеріалів розробленої методики, що передбачала проєктний підхід та роботу з реальним обладнанням радіомоніторингу. По закінченню навчання було проведено контрольне оцінювання знань із розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем

Аналіз результатів тестування (додаток К, додаток Л) виявив суттєві відмінності в динаміці навчальних досягнень між групами (табл. 3.1; рис. 3.1).

Таблиця 3.1

Результати тестування здобувачів до та після впровадження методики

Рівень	До		Після	
	Кількість	%	Кількість	%
високий	2	5%	9	21%
достатній	22	51%	24	56%
середній	18	42%	9	21%
низький	1	2%	1	2%

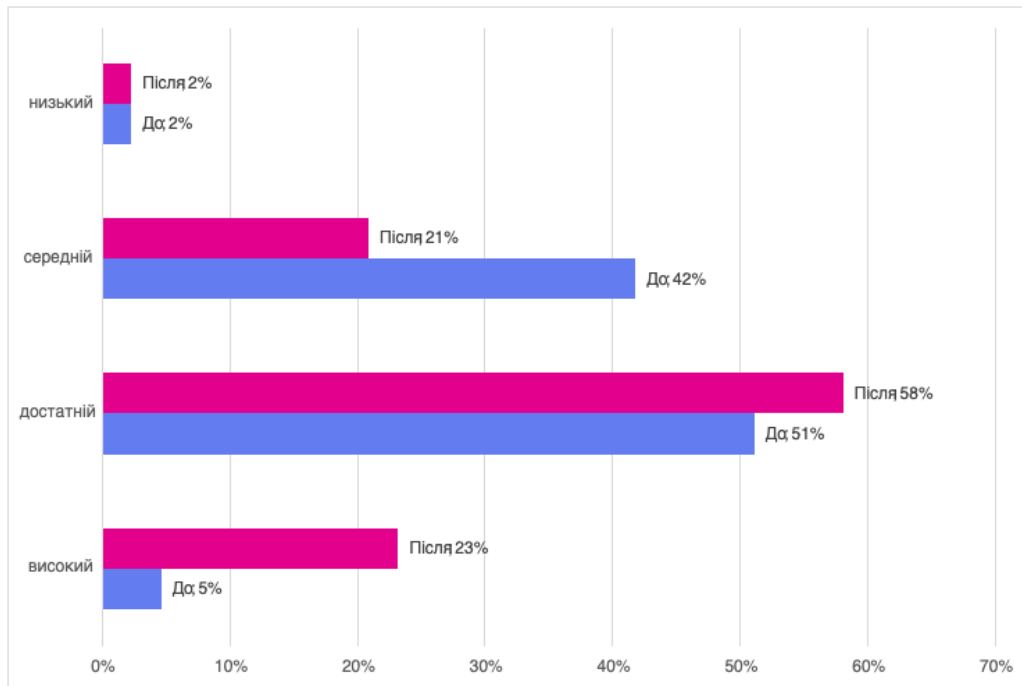


Рис. 3.1. Результати тестування здобувачів до та після впровадження методики

Для оцінки ефективності впровадженої методики було проведено порівняльний аналіз результатів успішності здобувачів до та після проведення педагогічного експерименту. Перевірка статистичної значущості змін у розподілі навчальних досягнень (оцінки тестування) здійснювалася за допомогою критерію узгодженості Пірсона (χ^2).

Було сформульовано статистичні гіпотези:

1. Нульова гіпотеза (H_0): Розподіл навчальних досягнень здобувачів після експерименту статистично не відрізняється від початкового рівня (зміни є випадковими).
2. Альтернативна гіпотеза (H_1): Розподіл результатів навчання після впровадження методики статистично значущо змінився в бік покращення показників.

За результатами обробки даних було отримано емпіричне значення критерію $\chi^2_{\text{емп.}} = 14,61$. Це значення порівнювалося з критичним показником для

числа ступенів свободи $df = 3$ при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Табличне критичне значення становить: $\chi^2_{\text{крит.}} = 7,815$. Оскільки $\chi^2_{\text{емп.}} > \chi^2_{\text{крит.}}$ ($14,61 > 7,82$), нульова гіпотеза H_0 відхиляється на користь альтернативної. Отримані статистичні показники підтверджують ефективність запропонованої методики навчання.

3.2. Методичні рекомендації щодо використання результатів дослідження в закладах фахової передвищої освіти

Враховуючи результати апробації, відгуки здобувачів і викладачів закладів фахової передвищої освіти було виокремлено рекомендації щодо навчання розробці засобів.

Оптимальним варіантом впровадження результатів дослідження є включення до освітньої програми окремої вибіркової дисципліни «Основи розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем» обсягом 36 академічних годин, що дає змогу забезпечити цілісне та систематичне вивчення всіх аспектів розробки засобів радіоелектронної розвідки. Альтернативною формою інтеграції є окремий змістовний модуль або теми в рамках існуючих професійно-орієнтованих дисциплін спеціальностей галузей знань «Електроніка та телекомунікації» та «Інформаційні технології». Для спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» логічним є включення модуля до дисциплін, що вивчають радіотехнічні системи та комплекси, основи побудови телекомунікаційних систем та інших, де теоретичні основи радіозв'язку можуть бути доповнені практикою створення систем радіомоніторингу.

Для спеціальності «Комп'ютерні науки» та суміжних ІТ-спеціальностей доцільним є інтегрування матеріалу до дисциплін, предметом вивчення яких є комп'ютерні системи та мережі, вбудовані системи та Інтернет речей, інформаційна безпека, де акцент, очевидно, робиться на програмній складовій розробки та алгоритмах обробки сигналів.

Спеціальність «Кібербезпека та захист інформації» природно включає тематику радіоелектронної розвідки в рамках дисципліни «Технічні засоби захисту інформації», де виявлення та аналіз радіовипромінювань розглядаються як елемент комплексної системи забезпечення кібербезпеки.

Подачу матеріалу слід здійснювати у форматі міждисциплінарного проєкту, що об'єднує здобувачів освіти різних спеціальностей для спільної роботи над створенням комплексної системи: одні фокусуються на апаратній реалізації, інші – на програмній частині, а треті – на аспектах інформаційної безпеки.

Оскільки порядок організації освітнього процесу передбачає викладання матеріалу протягом одного семестру зі співвідношенням годин між лекційними та практичними заняттями приблизно один до двох, що відповідає практико-орієнтованому характеру дисципліни, то рекомендованим є розміщення дисципліни або окремого змістовного модуля на старших курсах навчання. Зокрема, після того як здобувачі освіти засвоять базові дисципліни з електроніки, програмування та теорії сигналів, забезпечуючи тим самим наявність необхідних передумов для успішного засвоєння матеріалу. Для освітньо-професійного ступеня фахового молодшого бакалавра оптимальним є четвертий семестр навчання, коли студенти вже володіють достатніми базовими знаннями, але ще мають нагоду використати набуті компетентності при виконанні кваліфікаційної роботи.

Критично важливим є формування мотивуючого освітнього середовища через демонстрацію практичної значущості досліджуваного матеріалу та актуальності розроблюваних систем для розв'язання реальних завдань національної безпеки. Адже залучення до освітнього процесу фахівців-практиків із військових підрозділів радіоелектронної боротьби для проведення гостьових лекцій та майстер-класів значно підвищує мотивацію здобувачів освіти і дає їм змогу побачити практичне застосування набутих знань. Організація відвідувань профільних підприємств оборонно-промислового комплексу, де здобувачі освіти

можуть ознайомитися з промисловими зразками обладнання радіоелектронної розвідки та умовами його експлуатації, допомагає сформувати цілісне розуміння професійної діяльності у цій сфері. Важливим елементом мотивації є також можливість представлення найкращих студентських проєктів на науково-практичних конференціях та конкурсах технічних інновацій, що забезпечує визнання досягнень здобувачів освіти та стимулює їх до поглибленого вивчення матеріалу.

Також слід зазначити, що ефективному засвоєнню знань сприятиме індивідуалізація освітнього процесу через диференціацію завдань відповідно до рівня підготовки та інтересів здобувачів освіти. Для студентів із більш ґрунтовною теоретичною підготовкою доцільно пропонувати розширені завдання, що включають розробку додаткових функціональних можливостей пристрою: методи детекції джерел випромінювання або алгоритми класифікації типів безпілотних систем на основі радіочастотних відбитків. Здобувачі освіти з акцентом на програмуванні можуть зосередитися на оптимізації алгоритмів обробки сигналів та розробці більш складних архітектурних рішень програмного забезпечення, тоді як студенти, котрі цікавляться апаратною складовою, можуть поглиблено вивчати схемотехнічні аспекти приймачів та методи мінімізації впливу електромагнітних завад. Така диференціація забезпечує максимальну ефективність освітнього процесу, дозволяючи кожному здобувачу освіти розвивати свої сильні сторони при одночасному формуванні базових компетентностей у всіх критичних аспектах розробки систем радіоелектронної розвідки.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання: розробка та обґрунтування методики навчання створенню засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем у закладах фахової передвищої освіти.

На основі аналізу науково-педагогічної, навчально-методичної та технічної літератури були досліджені теоретичні засади радіоелектронної розвідки як складової радіоелектронної війни, визначено її місце у системі протидії безпілотним загрозам та розкрито основні принципи функціонування засобів моніторингу електромагнітного спектра. Досліджено технічні характеристики радіосигналів FPV-дронів; проаналізовано протоколи передачі даних та особливості аналогової трансляції відеопотоку; систематизовано сучасні методи виявлення та моніторингу безпілотних систем на основі радіочастотного аналізу.

Проведено комплексний аналіз освітніх програм та відповідних робочих програм освітніх компонент дотичних до теми радіоелектронної розвідки та виявлення БПЛА в закладах фахової передвищої освіти України, котрий виявив три основні системні прогалини: відсутність інтегрованої підготовки, що поєднує кібербезпеку, радіоінженерію та вбудовані системи; брак специфічного освітнього контенту про безпілотні системи та методи протидії їм; фрагментація підходів між військовими та цивільними закладами освіти. Визначено найбільш релевантні заклади для впровадження розробленої методики та обґрунтовано необхідність створення спеціалізованих освітніх модулів.

Спроектовано та розроблено функціональний прототип апаратно-програмного комплексу радіоелектронної розвідки на базі доступних комерційних компонентів для виявлення та перехоплення відеосигналів FPV-дронів. Розроблено програмне забезпечення з алгоритмами автоматичного сканування спектра, виявлення активності, верифікації та декодування відеопотоку у реальному часі. Створено детальну технічну документацію та

методичні матеріали, зокрема освітній вебресурс, для поетапної розробки системи в умовах навчальної лабораторії.

Показано шляхи впровадження розробленого пристрою, як навчально-практичного засобу, в освітній процес підготовки фахівців в сфері інформаційних технологій. Зокрема, як окремої вибіркової освітньої компоненти «Основи розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем» або тем, окремих змістових модулів в рамках вивчення дисциплін комп'ютерного циклу.

Розкрито організаційно-методичні засади щодо навчання розробці РЕР для виявлення і перехоплення відеосигналів БПЛА: форми організації навчання, матеріально-технічне забезпечення, інтеграцію розробленого авторського пристрою тощо.

Апробація результатів дослідження здійснювалася у двох напрямках: технічному і педагогічному. Технічна апробація розробленого пристрою проведена за участі військових у польових умовах, результати якої підтвердили відповідність технічним вимогам та функціональну придатність системи для виявлення безпілотних апаратів. Розроблена методика навчання розробці засобів РЕР була апробована у Млинівському технолого-економічному фаховому коледжі та у Рівненському технічному фаховому коледжі НУВГП, зокрема у процесі навчання дисциплін комп'ютерного циклу фахівців в сфері інформаційних технологій. Проведений послідовний формувальний експеримент підтвердив її ефективність щодо формування у здобувачів здатностей до розробки засобів протидії БПЛА. Достовірність отриманих результатів (на рівні значущості $\alpha=0.05$) підтверджено за допомогою критерію Пірсона, зокрема, χ^2 емп становив 14,61.

Практичне значення результатів дослідження полягає у можливості впровадження розробленої методики для модернізації освітніх програм для підготовки фахівців галузей знань F Інформаційні технології та G Інженерія, виробництво та будівництво в закладах фахової передвищої освіти. Матеріали

роботи можуть застосовуватись для підготовки навчально-методичних посібників, проведення курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників та організації практичної підготовки студентів у сфері протидії безпілотним загрозам.

Перспективи подальших досліджень у контексті розвитку представленої методики можна окреслити декількома напрямками.

1. Розширення функціональних можливостей апаратно-програмного комплексу шляхом інтеграції алгоритмів машинного навчання, призначених для автоматичної класифікації типів безпілотних систем на основі радіочастотних сигнатур. Це значно підвищить точність ідентифікації та дозволить формування компетентностей здобувачів у сфері аналізу даних методами штучного інтелекту.
2. Дослідження можливостей адаптації розробленої методики для закладів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів, із відповідним збільшенням обсягу теоретичної та практичної підготовки.
3. Розробка освітньої платформи із інтеграцією віртуальних лабораторій та симуляторів радіочастотного середовища для навчання розробці засобів РЕР в закладах фахової передвищої та вищої освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вдовичин, Т. Я. (2013). Обґрунтування організаційно-педагогічних умов для забезпечення навчального процесу майбутніх фахівців у педагогічному університеті. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми, 34, 225–230.
https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/1135/1/Стаття_організаційно-педагогічні_умови_Вінниця.pdf
2. Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут. (2024a). Силабус навчальної дисципліни «Військова техніка зв'язку». Військовий коледж сержантського складу.
<https://mitit.mil.gov.ua/page/mcsp>
3. Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут. (2024б). Силабус навчальної дисципліни «Основи інформаційної безпеки». Військовий коледж сержантського складу.
4. Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут. (2024). Силабус навчальної дисципліни «Основи кібербезпеки». Військовий коледж сержантського складу.
5. Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут. (2024). Силабус навчальної дисципліни «Основи побудови військової техніки зв'язку». Військовий коледж сержантського складу.
6. Гоков, О. М. (2022). Фізичні основи технічних засобів розвідки: навчальний посібник. Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця.
https://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/29054/3/2022-Гоков_О_М.pdf
7. Діденко, О. В. (2024). Компетентнісний підхід у підготовці майбутніх офіцерів-прикордонників до професійної діяльності в умовах воєнного стану. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: Педагогічні науки, 3(38), 60–73.
8. Загородня, Л. (2020). Організаційно-методичні умови підготовки

- магістрів до забезпечення якості освітнього процесу в закладі дошкільної освіти. *Гуманізація навчально-виховного процесу*, 1(99), 35–45.
9. Казіміров, О. О., Оніпченко, П. М., Власов, К. В., & Потіхенський, А. І. (2025). Проблемні питання застосування засобів радіоелектронної боротьби проти безпілотних літальних апаратів. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, (1), 33–39. <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/view/1920>
 10. Міністерство освіти і науки України. (2022, 19 квітня). Про затвердження стандарту фахової передвищої освіти за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» (Наказ № 347).
 11. Нагорнюк, О. А. (2024). Методика розпізнавання радіосигналів FPV-БПЛА, сформованих за стандартами Crossfire та ExpressLRS. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*, 3(21), 90-98. <https://dndivsovt.com/index.php/journal/article/view/447>
 12. Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. (2022). Освітньо-професійна програма «Експлуатація інженерної техніки». Військовий коледж сержантського складу. https://asv.mil.gov.ua/sites/default/files/2025-03/opp_eit_0.pdf
 13. Рибалко А, Шроль Т. (2025а). Застосування сервісу mermaid.live для візуалізації та документування архітектури вбудованих систем. *Інформаційні технології в професійній діяльності: матеріали XVIII Всеукраїнської науково-практичної конференції / Рівне : РВВ РДГУ*. С.83-86
 14. Рибалко А., Шроль Т. (2025б) Методичні аспекти вивчення типології та принципів функціонування сучасних безпілотних систем у процесі підготовки майбутніх ІТ-фахівців в закладах фахової передвищої освіти. Підготовка педагогів до професійної діяльності в умовах змішаного навчання: матеріали IV Всеукр. наук-практ. конф., м. Рівне, 14-15 травня 2025 р. С. 110-117. URL: <http://repository.rshu.edu.ua/id/eprint/18489>
 15. Рівненський фаховий коледж інформаційних технологій. (2025).

Освітньо-професійна програма «Електроніка, електронні комунікації та радіотехніка». [Освітня програма].

<https://docs.google.com/document/d/1Bf9UnMJTOTy11Wyp3l6DLhHqWlcH5RMS/edit>

16. Самбірський фаховий коледж економіки та інформаційних технологій. (n.d.). *Спеціальності*. <https://saceit.org.ua/specialities/>
17. Тарас Гуцул, Іван Жежера, Владислав Ткач (2023). ОСОБЛИВОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА МЕТОДІВ ВИБОРУ БПЛА. TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES. 201-212. 10.25140/2411-5363-2022-4(30)-201-212.
https://www.researchgate.net/publication/368987403_OSOBLIVOSTI_KLASIFIKACII_TA_METODIV_VIBORU_BPLA
18. Шліхта, Г. О. (2024). *Формування ціннісно-деонтологічних компетентностей майбутніх фахівців IT-галузі у процесі професійної підготовки* (Дис. д-ра філос.). Рівненський державний гуманітарний університет, Рівне.
19. Fallatah, A., Alturki, T., Alsabban, Y., & Radhwi, I. (2025). A Comprehensive Review of Emerging Techniques for Drone Detection and Identification. *Robotics & Automation Engineering Journal*, 6(3), 555688.
<https://doi.org/10.19080/RAEJ.2025.06.555688>
20. Joint Chiefs of Staff. (2020). Joint Publication 3-85: Electronic warfare. U.S. Department of Defense. https://irp.fas.org/doddir/dod/jp3_85.pdf
21. Li, B., Zhao, S., Miao, R., & Zhang, R. (2021). A survey on unmanned aerial vehicle relaying networks. *IET Communications*, 15(10), 1262-1272.
<https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/cmu2.12107>
22. Nawaz, T., & Alzahrani, A. (2023). Machine-learning-assisted cyclostationary spectral analysis for joint signal classification and jammer detection at the physical layer of cognitive radio. *Sensors*, 23(16), 7144.
<https://doi.org/10.3390/s23167144>
23. Nemer, I., Sheltami, T., Ahmad, I., Yasar, A. U.-H., & Abdeen, M. A. R. (2021). RF-Based UAV Detection and Identification Using Hierarchical

Learning Approach. Sensors, 21(6), 1947. <https://doi.org/10.3390/s21061947>

24.UA Dynamics. (2022). Теорія і практика застосування безпілотних літальних апаратів (дронів): Посібник. UA Dynamics. https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023/03/Теорія_і_практика_застосування_БПЛА_ua_dynamics_brochure_.pdf

ДОДАТКИ

Додаток А



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

МЛИНІВСЬКИЙ ТЕХНОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

вул. І. Франка, 1, с-ще Млинів, Рівненська обл., 35100, тел. +38(036)-596-55-66

E-mail: mdtek@ukr.net, Код ЄДРПОУ 00728693

№ _____

На № 244/гг 12.12.2025р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів кваліфікаційної роботи
здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 015.10 «Професійна освіта (Цифрові технології)»

Рівненського державного гуманітарного університету

Рибалка Андрія Андрійовича

на тему: «Методика навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки для
виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем
у закладах фахової передвищої освіти»

Основні результати кваліфікаційної роботи на тему: «Методика навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем у закладах фахової передвищої освіти» було впроваджено в освітній процес Млинівського технологічно-економічного фахового коледжу в період 2024-2025 н.р. та I семестру 2025-2026 н.р.

Впровадження здійснено у рамках підготовки здобувачів спеціальності 121 «Комп'ютерна інженерія» шляхом: включення елементів запропонованої методики до змістових модулів дисциплін «Комп'ютерні системи та мережі», «Комп'ютерна електроніка», «Комп'ютерна схемотехніка»; використання розроблених автором алгоритмів, теоретичних матеріалів, практичних завдань та макетів засобів радіоелектронної розвідки для виявлення й перехоплення відеосигналів безпілотних систем.

Результати кваліфікаційної роботи схвалені на засіданні циклової комісії інформаційних технологій протокол №6 від 12 грудня 2025 року та можуть бути рекомендовані для використання у системі фахової передвищої освіти підготовки фахівців в галузі інформаційних технологій.



Директор
Млинівського технологічно-
економічного
фахового коледжу

фахового

Вячеслав ЯЦКЕВИЧ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ «РІВНЕНСЬКИЙ
ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ»
 Україна, Рівненська обл., м. Рівне, вул. Вишиванка, 35, 33027, тел. (0362) 64-34-03
 E-mail: tehnich-college@nuwm.edu.ua, Код ЄДРПОУ 25950174

17.12.2025 № 443

На № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів кваліфікаційної роботи
 здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти
 спеціальності 015.10 «Професійна освіта (Цифрові технології)»
 Рівненського державного гуманітарного університету

Рибалка Андрія Андрійовича

на тему: «Методика навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки для
 виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем
 у закладах фахової передвищої освіти»

Основні результати кваліфікаційної роботи на тему: «Методика навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем у закладах фахової передвищої освіти» впроваджено в освітній процес Відокремленого структурного підрозділу «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування» в період 2024-2025 н.р. та I семестру 2025-2026 н.р.

Апробація матеріалів здійснювалася під час підготовки здобувачів спеціальності 113 «Прикладна математика» в рамках викладання дисциплін «Захист інформації та мережева безпека» та «Створення та розвиток ІТ-продуктів». Впровадження реалізовано шляхом інтеграції у змістові дисциплін теоретичних результатів дослідження, а також через використання методичних рекомендацій, методико-технологічного забезпечення із розробки засобів для виявлення й перехоплення відеосигналів безпілотних систем під час проведення практичних занять.

Отримані результати свідчать про актуальність проведеного дослідження і результатів роботи Рибалка А.А. та можуть бути рекомендовані до застосування у системі фахової передвищої освіти.

В.о. _____
 Рівненського _____
 фахового коледжу _____



_____ Лариса ОСАДЧА

Додаток В

ВІДГУК

про тестування пристрою перехоплення відеосигналів БпЛА типу FPV

Виданий Рибалку Андрію Андрійовичу, здобувачу другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 015.10 «Професійна освіта (Цифрові технології)» Рівненського державного гуманітарного університету, про те, що експериментальний зразок пристрою, розроблений у межах його кваліфікаційної роботи на тему: «Методика навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем у закладах фахової передвищої освіти», пройшов випробовування в реальних умовах із залученням військовослужбовців Сил оборони України в листопаді 2025 року.

У ході випробовувань підтверджено працездатність пристрою, стабільність його функціонування та можливість практичного застосування за призначенням.

Деталі щодо місця та часу проведення випробовувань не розголошуються з міркувань безпеки.

Відгук видано для пред'явлення за місцем вимоги.

Командир роти радіоелектронної боротьби
військової частини А0989
капітан

12.09.2025р.



Ігор ШУТИЙ



Рис.Г.1.



Рис. Г.2.

Додаток Д

QR-код із посиланням на освітній вебресурс із покроковими інструкціями створення пристрою для визначення та ідентифікації відеосигналів БПЛА в умовах навчальних лабораторій



Рис. Д.1. QR-код із посиланням на вебресурс

Додаток Е

Таблиця Е.1

Технічне завдання на розробку апаратно-програмного комплексу для виявлення відеосигналів БАС

Категорії вимог	Опис
Мета розробки	Створення апаратно-програмного комплексу для виявлення, ідентифікації та перехоплення аналогових відеосигналів безпілотних літальних систем з метою навчально-дослідної та практичної підготовки здобувачів закладів фахової передвищої освіти; апробації у реальних умовах експлуатації, включаючи випробування за участі військових підрозділів; формування практичних компетентностей у сфері радіоелектронної розвідки та інформаційних технологій
Функціональні вимоги	<i>Виявлення джерел сигналів:</i> – Діапазон 1: 980–1960 МГц – Діапазон 2: 5250–6230 МГц – Багатоканальна система з одночасним скануванням обох діапазонів.
	<i>Реєстрація параметрів сигналу:</i> – Визначення несучої частоти (точність ± 10 МГц) – Вимірювання потужності прийнятого сигналу (RSSI) – Фіксація часу виявлення
	<i>Режими роботи:</i> – Автоматичний режим: безперервне сканування спектра з автоматичною фіксацією сигналів та сповіщенням оператора – Ручний режим: цілеспрямоване налаштування на конкретну частоту для детального аналізу
	<i>Перехоплення та демодуляція відео:</i> – Демодуляція відеопотоку у реальному часі – Виведення відтвореного відео на вбудований дисплей (≥ 5», $\geq 720p$) – Підтримка стандартів PAL та NTSC – Автоматичне розпізнавання стандарту відео
	<i>Журналювання та збереження даних:</i> – Ведення журналу подій з фіксацією часу, частоти та тривалості активності джерел – Збереження інформації про виявлені сигнали у внутрішній енергонезалежній пам'яті – Експорт результатів через USB

Нефункціональні вимоги	<i>Інтерфейс користувача:</i> – Рідкокристалічний дисплей для відображення списку частот та відео – Фізичні кнопки управління на корпусі – Інтуїтивний інтерфейс для роботи без спеціальної підготовки
	<i>Зовнішні інтерфейси:</i> – USB-підключення до ПК для зчитування журналів – Інтеграція з лабораторними стендами
	<i>Додаткові режими для навчання:</i> – Режим симуляції з попередньо записаними даними – Робота з тестовими генераторами сигналів – Безпечне навчання без ризику перехоплення реальних передач
	<i>Продуктивність:</i> – Час повного сканування обох діапазонів: ≤ 5 с – Затримка демонстрації відео після налаштування: < 1 с – Час реакції на нове джерело: ≤ 7 с (сканування + верифікація)
	<i>Точність виявлення:</i> – Мінімальний рівень сигналу для детектування: ≥ -95 дБм – Похибка вимірювання частоти: ≤ 5 МГц – Похибка вимірювання потужності: ≤ 3 дБ
	<i>Надійність:</i> – Середній час роботи до відмови: ≥ 500 годин – Виконання базових функцій: $\geq 95\%$ успішних випадків – Працездатність при впливі електромагнітних завад (стільниковий зв'язок, радіомовлення, цифрові передачі в.т.ч. WiFi)
	<i>Умови експлуатації:</i> – Температурний діапазон: від -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$ – Вологість повітря: до 85% (без конденсату) – Захист корпусу: від пилу та вологи (польові умови) – Матеріал корпусу: ударостійкий пластик (3D друк, товщина > 3 мм)
	<i>Автономність:</i> – Акумулятор: літій-іонний, ємність ≥ 2000 мА·год – Час автономної роботи: ≥ 4 години при активному використанні всіх функцій – Захист: контролер заряджання з балансуванням, захист від перезаряду/глибокого розряду – Додатково: живлення від мережі 220В через зовнішній адаптер (лабораторні умови)

	<i>Масштабованість та підтримка:</i> – Модульна архітектура для додавання нових діапазонів частот – Можливість оновлення алгоритмів через перепрошивку мікроконтролера – Адаптація до нових типів сигналів без апаратних модифікацій – Модульність програмного коду для простоти модифікації студентами
	<i>Юзабіліті та навчальна підтримка:</i> – Придатність для роботи студентів та викладачів без спеціальної підготовки – Комплект навчальних матеріалів: інструкції з експлуатації, методичні вказівки, лабораторні завдання – Інструкції з безпеки та етичного використання – Політика обробки конфіденційних даних
Апаратні компоненти	<i>Антенна система:</i> – 4 широкосмугові антени з круговою поляризацією (по 2 для діапазонів 1.2 ГГц та 5.8 ГГц) – Антени прийому: коефіцієнт підсилення 3–5 дБі (кругова діаграма спрямованості) – Антени напрямлені: коефіцієнт підсилення 7–15 дБі (для визначення положення БАС)
	<i>Процесинговий модуль:</i> – Мікроконтролер з достатньою обчислювальною потужністю для аналізу сигналів у реальному часі – Спеціалізований процесор обробки відео для демодуляції композитного сигналу – Інтерфейси: SPI, I²C, UART для взаємодії з периферією – АЦП: роздільна здатність ≥ 12 біт, режим прямого доступу до пам'яті (DMA) – ОЗП: ≥ 128 кБ для буферів обробки сигналів – Енергонезалежна пам'ять: ≥ 512 кБ для ПЗ та журналів подій
Програмне забезпечення	<i>Низькорівневе ПЗ:</i> – Драйвери для взаємодії з апаратними модулями – Асинхронна обробка подій від множини джерел – Мова реалізації: C++ (абстракції з нульовими витратами) – Модульна архітектура коду
	<i>Алгоритми обробки:</i> – Сканування спектру: послідовний обхід діапазону, накопичення статистики, динамічний поріг виявлення – Виявлення та класифікація: пошук синхроімпульсів PAL/NTSC – Демодуляція відео: автоматичне розпізнавання стандарту, адаптація параметрів синхронізації – Логування: запис у енергонезалежну пам'ять з позначками часу, частоти, потужності, тривалості

Програмний код для аналізу даних отриманих від приймачів відеосигналів

```

import serial, re, datetime
import pandas as pd

meausre_seconds = 3
voltages = []

start = datetime.datetime.now()

# Initialize serial port
with serial.Serial('COM21', 9600) as ser: # Adjust the port and baud rate as needed
    regex_voltage = re.compile(r'_1\.2(\w+)')
    while True:
        line = ser.readline().decode('utf-8').strip()
        match = regex_voltage.match(line)
        if match:
            volt_str = match.group(1)
            for ind in range(int(len(volt_str) / 4)):
                # from hex to int
                voltages.append(int(volt_str[4 * ind: 4 * (ind + 1)], 16))
            break
df_video = pd.DataFrame({'Index': range(len(voltages)), 'Voltage': voltages})

import matplotlib.pyplot as plt

avg = df_video['Voltage'].mean()
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(df_video.head(250)['Index'], df_video.head(250)['Voltage'])
plt.axhline(y=avg, color='r', linestyle='--', label=f'Average Voltage: {avg:.2f}')
plt.xlabel('Index')
plt.ylabel('Voltage')
plt.show()

```

Додаток И**Практична робота №3**

ТЕМА: Реалізація алгоритмів верифікації відеосигналів для засобу радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем

МЕТА: набуття практичних навичок програмування алгоритмів верифікації аналогових відеосигналів на мікроконтролері STM32F411; опанувати методи роботи з АЦП у режимі прямого доступу до пам'яті (DMA); реалізувати алгоритм пошуку характерних паттернів синхроімпульсів стандартів PAL/NTSC.

Короткі теоретичні відомості

Алгоритм ідентифікації аналогового відеосигналу призначений для підтвердження, що виявлений сигнал справді є відео-передачею від FPV-дрона, а не стороннім сигналом (GSM, WiFi, КТРЛ БПЛА) у тому ж діапазоні частот. Існують два взаємодоповнюючі методи верифікації: апаратний та програмний.

Апаратний метод верифікації базується на використанні вбудованих можливостей спеціалізованих мікросхем приймачів відеосигналу, що містять апаратну логіку детектування синхроімпульсів. Критеріями підтвердження наявності відео виступають: достатній рівень потужності прийнятого сигналу та встановлення апаратного прапорця синхронізації при детектуванні характерної структури синхроімпульсів рядкової та кадрової розгортки. Недоліком є відсутність такої підтримки у поширених приймачах RX5808 та TA8804F.

Програмний метод верифікації застосовується як резервний механізм або за неможливості використати апаратну перевірку. Цей метод передбачає програмний аналіз часової структури демодульованого сигналу. Алгоритм здійснює збір відліків сигналу протягом часового інтервалу, достатнього для захоплення кількох повних кадрів відео (щонайменше 80–120 мс), після чого проводиться пошук характерних періодичних структур.

Ідентифікація відеосигналу базується на виявленні послідовності синхроімпульсів кадрової розгортки, що повторюються з частотою 25 Гц для стандарту PAL або близько 30 Гц для стандарту NTSC. Для надійного детектування застосовано метод кореляційного аналізу на основі обрахунку відстані Кука, що дозволяє виявити періодичні компоненти навіть за наявності значного рівня шумів.

Завдання

- 1) Налаштувати АЦП мікроконтролера STM32F411 у режимі безперервного перетворення з використанням DMA для збору відліків демодульованого відеосигналу.
- 2) Реалізувати буфер збору даних обсягом, достатнім для захоплення 3–4 повних кадрів відео (частота дискретизації ≥ 100 кГц, тривалість ≥ 120 мс).
- 3) Розробити функцію пошуку синхроімпульсів кадрової розгортки на основі аналізу періодичності сигналу з очікуваним періодом 40 мс (PAL) або 33.3 мс (NTSC).
- 4) Імплементувати метод кореляційного аналізу для виявлення періодичних компонентів сигналу з використанням відстані Кука.
- 5) Провести тестування алгоритму верифікації на реальних відеосигналах FPV-передавачів у діапазонах 1.2 ГГц та 5.8 ГГц.
- 6) Оцінити ефективність алгоритму: визначити відсоток правильних виявлень та кількість хибних спрацювань.

Контрольні питання

1. Яка різниця між апаратним та програмним методами верифікації відеосигналів?
2. Які часові параметри синхроімпульсів кадрової розгортки для стандартів PAL та NTSC?
3. Чому використовується режим DMA для збору відліків сигналу?
4. Як метод відстані Кука допомагає виявити періодичні компоненти у зашумленому сигналі?
5. Яка мінімальна тривалість буфера даних необхідна для надійної верифікації відеосигналу?

Корисні джерела

1. Теорія аналогового відеосигналу (PAL/NTSC) - <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/understanding-analog-video-signals.html>
2. Програмування STM32F411: ADC та DMA - <https://deepbluembedded.com/stm32-dma-tutorial-using-direct-memory-access-dma-in-stm32/>
3. Математичні методи та аналіз сигналів - <https://se.mathworks.com/help/stats/cooks-distance.html>

Додаток К

**Тестові питання для оцінки знань здобувачів із комп'ютерної
електроніки**

1. Який основний принцип роботи біполярного транзистора в активному режимі?

- а) Струм бази керує струмом колектора
- б) Напруга на емітері керує струмом бази
- в) Струм колектора дорівнює струму бази
- г) Опір переходу база-емітер є нескінченним

2. Який елемент є основним накопичувачем енергії в ємнісних згладжувальних фільтрах?

- а) Індуктивність
- б) Резистор
- в) Конденсатор
- г) Діод

3. Для чого призначений стабілітрон у параметричному стабілізаторі напруги?

- а) Для випрямлення змінного струму
- б) Для підтримання сталої напруги на навантаженні
- в) Для збільшення пульсацій
- г) Для обмеження вхідного струму

4. Яку функцію виконує інвертор у системах живлення?

- а) Перетворює змінну напругу в постійну
- б) Підвищує частоту вхідної напруги без зміни амплітуди
- в) Перетворює постійну напругу в змінну
- г) Стабілізує вхідну змінну напругу

5. Як визначається загальний коефіцієнт підсилення багатокаскадного підсилювача?

- а) Як сума коефіцієнтів підсилення кожного каскаду
- б) Як різниця коефіцієнтів підсилення
- в) Як добуток коефіцієнтів підсилення кожного каскаду
- г) Як середнє арифметичне коефіцієнтів підсилення

6. Який вхідний опір має ідеальний операційний підсилювач?

- а) Нульовий
- б) Дуже малий (кілька Ом)
- в) Дорівнює вихідному опорі
- г) Нескінченно великий

7. Що таке польовий транзистор (FET)?

- а) Транзистор, керований струмом
- б) Транзистор, керований напругою (електричним полем)
- в) Транзистор, що не має р-п переходів
- г) Транзистор, що працює тільки на змінному струмі

8. Яка схема випрямляча дає найменший рівень пульсацій при тій же ємності фільтра?

- а) Однопівперіодна
- б) Мостова (двопівперіодна)
- в) Безтрансформаторна
- г) Однотактна

9. Як впливає негативний зворотний зв'язок (НЗЗ) на роботу операційного підсилювача?

- а) Збільшує коефіцієнт підсилення і звужує смугу частот
- б) Зменшує стабільність роботи схеми
- в) Покращує лінійність і стабільність, але зменшує підсилення
- г) Переводить підсилювач у режим генерації

10. Яка основна перевага імпульсних стабілізаторів напруги над лінійними?

- а) Високий коефіцієнт корисної дії (ККД)
- б) Відсутність пульсацій на виході
- в) Простота схеми
- г) Відсутність потреби в котушках індуктивності

11. У схемі подвоєння напруги на виході отримуємо напругу, що приблизно дорівнює:

- а) Амплітудному значенню вхідної напруги
- б) Діючому значенню вхідної напруги
- в) Подвоєному амплітудному значенню вхідної напруги
- г) Половині амплітудного значення

12. Яку роль відіграють розділові конденсатори між каскадами підсилювача?

- а) Згладжують пульсації живлення
- б) Пропускають змінну складову сигналу і блокують постійну
- в) Збільшують коефіцієнт підсилення по струму
- г) Забезпечують температурну стабілізацію

13. Що називається «напругою відсічки» для польового транзистора з р-п

переходом?

- а) Напруга на затворі, при якій струм стоку стає рівним нулю
- б) Максимальна напруга, яку витримує транзистор
- в) Напруга, при якій транзистор переходить у режим насичення
- г) Напруга пробою між витоком і стоком

14. Який тип фільтра найкраще підходить для згладжування пульсацій при великих струмах навантаження?

- а) Тільки ємнісний (С-фільтр)
- б) RC-фільтр
- в) LC-фільтр (індуктивно-ємнісний)
- г) Резистивний дільник

15. Що характеризує коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу (КОСС) в операційному підсилювачі?

- а) Здатність підсилювати різницевий сигнал і пригнічувати спільний (завади)
- б) Здатність працювати на високих частотах
- в) Відношення вихідної напруги до напруги живлення
- г) Рівень власних шумів підсилювача

16. Для чого використовуються схеми помножувачів напруги (наприклад, Кокрофта-Уолтона)?

- а) Для отримання великих струмів при низькій напрузі
- б) Для отримання високої напруги при малому струмі
- в) Для стабілізації частоти мережі
- г) Для перетворення постійного струму в змінний

17. У якому режимі транзистор можна розглядати як замкнутий ключ?

- а) У режимі відсічки
- б) В активному режимі
- в) У режимі насичення
- г) У режимі інверсного включення

18. Яка основна властивість інвертуючого включення операційного підсилювача?

- а) Вихідний сигнал зсунутий по фазі на 180 градусів відносно вхідного
- б) Вихідний сигнал співпадає по фазі з вхідним
- в) Вхідний опір схеми прямує до нескінченності
- г) Коефіцієнт підсилення завжди дорівнює одиниці

19. Як називається каскадний підсилювач, побудований за схемою зі спільним колектором (емітерний повторювач)?

- а) Підсилювач напруги
- б) Буферний каскад з високим вхідним і низьким вихідним опором
- в) Інвертор сигналу
- г) Фільтр високих частот

20. Який параметр є критичним для силових ключів (транзисторів) в інверторах?

- а) Коефіцієнт підсилення по струму в активному режимі
- б) Час перемикання (швидкодія)
- в) Вхідний опір на низькій частоті
- г) Коефіцієнт шуму

Правильні відповіді

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
А	В	Б	В	В	Г	Б	Б	В	А	В	Б	А	В	А	Б	В	А	Б	Б

ОЦІНЮВАННЯ:

<i>Рівень</i>	<i>Кількість правильних відповідей</i>	<i>Характеристика</i>
<i>Низький</i>	0–6	Початкові знання, значні прогалини
<i>Середній</i>	7–12	Базові знання, але нестача системності
<i>Достатній</i>	13–17	Добре засвоєний матеріал, можливі дрібні помилки
<i>Високий</i>	18–20	Відмінне знання, повне розуміння матеріалу

Додаток Л

**Тестові питання для підсумкового контролю знань здобувачів із
розробки засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і
перехоплення відеосигналів безпілотних систем**

1. Що є основним завданням радіоелектронної розвідки (РЕР) у контексті протидії безпілотним системам?

- А) Фізичне знищення безпілотних літальних апаратів
- Б) Розробка нових типів безпілотних літальних апаратів
- В) Виявлення, ідентифікація та аналіз радіовипромінювань безпілотних систем
- Г) Створення радіоперешкод для блокування всіх радіочастот

2. Технологія ППРЧ (псевдовипадкове перелаштування робочої частоти) використовується у FPV-дронах для:

- А) Збільшення потужності передавача
- Б) Зменшення енергоспоживання системи зв'язку
- В) Покращення якості відеозображення
- Г) Підвищення завадостійкості та ускладнення виявлення сигналу

3. Який метод пасивної локації базується на вимірюванні різниці часу надходження сигналу до кількох приймачів?

- А) Різницево-далекомірний (гіперболічний) метод
- Б) Триангуляційний (кутомірний) метод
- В) Доплерівський метод
- Г) Амплітудний метод

4. Які частотні діапазони використовуються для передачі аналогових відеосигналів FPV-дронів згідно з технічним завданням розробленого комплексу?

- А) 433 МГц та 868 МГц
- Б) 980–1960 МГц та 5250–6230 МГц
- В) 2.4 ГГц та 5.0 ГГц
- Г) 100–500 МГц та 3000–4000 МГц

5. Яка тривалість пакета управління у стандарті CrossFire?

- А) 1 мілісекунда
- Б) 5 мілісекунд
- В) 3 мілісекунди
- Г) 10 мілісекунд

6. Що означає абревіатура RSSI?

- A) Radio Signal Stability Index – індекс стабільності радіосигналу
- Б) Remote System Status Information – інформація про стан віддаленої системи
- В) Rapid Signal Scanning Interface – інтерфейс швидкого сканування сигналів
- Г) Received Signal Strength Indicator – індикатор потужності прийнятого сигналу

7. Модуляція LoRa (Long Range) характеризується:

- A) Використанням амплітудної модуляції з високою швидкістю передачі
- Б) Застосуванням розширення спектра з лінійною частотною модуляцією (chirp)
- В) Використанням вузькосмугової частотної модуляції
- Г) Застосуванням імпульсно-кодової модуляції

8. Який мікроконтролер використовується як центральний елемент системи керування в розробленому апаратно-програмному комплексі?

- A) Arduino Mega 2560
- Б) ESP32
- В) Raspberry Pi Pico
- Г) STM32F411

9. Приймач RX5808 призначений для роботи в діапазоні:

- A) 5.8 ГГц
- Б) 2.4 ГГц
- В) 1.2 ГГц
- Г) 900 МГц

10. Який частотний діапазон охоплює приймач на базі мікросхеми TA8804F?

- A) Від 100 МГц до 500 МГц
- Б) Від 5000 МГц до 6000 МГц
- В) Від 850 МГц до 2200 МГц
- Г) Від 2400 МГц до 2500 МГц

11. Який комерційний FPV-монітор було обрано як базу для модифікації в навчальному проєкті?

- A) Eachine EV800D
- Б) Skyzone SKY04X
- В) FatShark HDO2
- Г) Eachine LCD5802

12. Який метод використовується в розробленому комплексі для відокремлення сигналів від фонового випромінювання та завад?

- А) Метод фіксованого порогу з константним значенням
- Б) Метод динамічного порогу на основі статистичних характеристик спектра
- В) Метод нейронних мереж для класифікації шумів
- Г) Метод частотної фільтрації Баттерворта

13. Який інструмент використовується для зворотної інженерії (reverse engineering) програмного забезпечення мікроконтролерів?

- А) Microsoft Visual Studio
- Б) Adobe Photoshop
- В) Ghidra
- Г) Autodesk AutoCAD

14. Для виявлення активного відеосигналу в системі використовується:

- А) Аналіз частотного спектра методом Фур'є
- Б) Розпізнавання образів за допомогою машинного зору
- В) Декодування цифрових пакетів даних
- Г) Пороговий детектор на основі показників RSSI

15. Яка послідовність аналізу параметрів використовується для ідентифікації типу сигналу FPV-БПЛА?

- А) Потужність → швидкість → кодування → шифрування
- Б) Антена → кабель → роз'єм → приймач
- В) Діапазон частот → вид модуляції → часові параметри → параметри модуляції
- Г) Відстань → висота → швидкість → напрямок

16. Який максимальний час повного сканування обох частотних діапазонів згідно з технічними вимогами комплексу?

- А) 1 секунда
- Б) 10 секунд
- В) 30 секунд
- Г) 5 секунд

17. Який процесор використовується для обробки та відображення відеосигналу на дисплеї комплексу?

- А) Процесор Allwinner A64 RK3288
- Б) Процесор Rockchip
- В) Процесор MST703
- Г) Процесор Broadcom BCM2835

18. Які послідовні інтерфейси використовуються для взаємодії мікроконтролера STM32 з периферійними модулями?

- А) USB, Ethernet, CAN
 Б) SPI, I²C, UART
 В) HDMI, DisplayPort, VGA
 Г) RS-485, Modbus, Profibus

19. Який мінімальний рівень сигналу для детектування згідно з технічними вимогами комплексу?

- А) -70 дБм
 Б) -80 дБм
 В) -95 дБм
 Г) -50 дБм

20. На якій процесорній архітектурі базується відеопроцесор MST703?

- А) ARM Cortex-M4
 Б) Intel 8051
 В) MIPS32
 Г) RISC-V

Правильні відповіді

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
В	Г	А	Б	В	Г	Б	Г	А	В	Г	Б	В	Г	Б	Г	В	Б	В	Б

ОЦІНЮВАННЯ:

Рівень	Кількість правильних відповідей	Характеристика
Низький	0–6	Початкові знання, значні прогалини
Середній	7–12	Базові знання, але нестача системності
Достатній	13–17	Добре засвоений матеріал, можливі дрібні помилки
Високий	18–20	Відмінне знання, повне розуміння матеріалу

Тестові питання розроблено на основі методики навчання розробці засобів радіоелектронної розвідки для виявлення і перехоплення відеосигналів безпілотних систем (Рибалко А.А., РДГУ, 2025)