

О. А. Нагорнюк

**БАЗА ДАНИХ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ТИПУ  
БЕЗПЛОТНОГО АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА ЙОГО РАДІОСИГНАЛАМИ**

*Виявлення та технічний аналіз випромінювання радіопередавачів елементів безпілотних авіаційних комплексів дозволяє встановити факт їх використання та ідентифікувати тип. Розпізнавання типу безпілотного авіаційного комплексу за його радіосигналами здійснюється шляхом порівняння їх визначених параметрів із відомими значеннями, що зберігаються в базі даних. У статті запропоновано структуру такої бази даних радіосигналів безпілотних авіаційних комплексів, що ґрунтується на реляційній моделі даних. Вона становить собою сукупність взаємозалежних двовимірних таблиць, у яких зібрана інформація про параметри та характеристики радіосигналів каналів управління, телеметрії та передачі цільової інформації, частоти роботи приймачів супутникової радіонавігаційної системи, а також вказано призначення, належність, аеродинамічну схему, зовнішній вигляд, основні тактико-технічні характеристики безпілотного авіаційного комплексу та рекомендації з протидії йому. Інформація про характеристики радіосигналів каналів безпілотного авіаційного комплексу містить дані про: частотні діапазони роботи радіоканалу, параметри розширення спектра та модуляції, зображення амплітудно-частотних спектрів і спектрограм. Використання зібраної в базі даних інформації дозволяє розпізнавати тип безпілотного авіаційного комплексу за його радіосигналами та приймати рішення про діапазони частот, у яких буде здійснюватися радіоподавлення приймачів радіоканалів, навігаційної апаратури, а також вибирати найбільш ефективні за структурою радіоперешкоди. Відповідно до запропонованої структури розроблено спеціальне програмне забезпечення бази даних радіосигналів безпілотних авіаційних комплексів, яке робить можливим перегляд, редагування, копіювання, додавання нової інформації про безпілотні авіаційні комплекси, параметри та характеристики їх радіоканалів, а також пошук. Інтерфейс користувача забезпечує одночасний перегляд усієї інформації щодо безпілотного авіаційного комплексу, параметрів та характеристик його радіосигналів.*

**Ключові слова:** база даних; радіосигнал; безпілотний авіаційний комплекс; параметр; характеристика; ідентифікація; протидія; програмне забезпечення.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Досвід російсько-української війни свідчить, що однією з основних особливостей ведення бойових дій (операцій) є широке застосування сучасних засобів повітряного нападу, зокрема безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) різного призначення. У зв'язку зі зростаючою кількістю різних типів цього виду озброєння та його можливостями, радіоелектронна протидія безпілотним літальним апаратам (БпЛА) належить до найбільш важливих завдань, які вирішують підрозділи радіоелектронної боротьби Сил оборони України [2, 3].

Одним з основних факторів, що впливають на ефективність виконання цих завдань, є виявлення й ідентифікація елементів БпАК, переважна більшість яких у процесі

© О. А. Нагорнюк, 2023

застосування здійснює радіообмін між БпЛА та станцією керування й контролю (СКК) [4]. Виявлення та технічний аналіз випромінювання передавачів елементів БпАК дозволяє встановити факт їх використання та ідентифікувати тип. Розпізнавання типу БпАК за їх радіосигналами здійснюється шляхом порівняння оцінених характеристик та параметрів радіосигналів із відомими значеннями, що зберігаються в базі даних [5]. Тому актуальним науково-практичним завданням є розроблення бази даних радіосигналів, структура якої оптимізована для зберігання параметрів та характеристик радіоканалів БпАК.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У [6] запропоновано базу даних для зберігання модуляційних ознак радіосигналів бездротових систем зв'язку, яку використовують для визначення виду модуляції невідомих сигналів багатовимірною гібридною мережею. У [7] показано базу даних телекомунікаційних радіосигналів, зібраних із використанням програмно визначеного радіо (software-defined radio (SDR)). Розглянуто метод збору даних за допомогою SDR трансивера та порівнюються точності алгоритмів розпізнавання, навчених на зібраному наборі даних. У [8] описано набір 227 записаних сегментів радіосигналів трьох різних БпАК, що працюють у різних режимах, а також записи фонові радіочастотної активності без наявності сигналів БпАК. У [9] розглянуто структуру систем зв'язку та передачі даних БпАК, а також стан розвитку пов'язаних технологій та напрямки майбутніх досліджень. У [10–12] проведено огляд відомих підходів до виявлення та розпізнавання БпЛА за їх радіосигналами. У [5] запропоновано методiku визначення БпАК за його радіосигналами, яка ґрунтується на порівнянні оцінених параметрів радіосигналів із відомими значеннями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що для розпізнавання типів БпАК використовують фрагменти записів радіосигналів або їх параметри. Однак відомі бази даних містять лише часткову інформацію про можливі параметри радіосигналів БпАК, достатню лише для реалізації алгоритмів ідентифікації, що її використовують. Наявна в них інформація про радіосигнали БпАК не дозволяє розпізнати його тип у разі обмежених можливостей із визначення параметрів радіосигналів. Крім того, відомі бази не містять тактико-технічних характеристик (ТТХ) БпАК та рекомендацій з протидії їм.

**Метою статті** є розроблення бази даних радіосигналів БпАК, структура якої налаштована для зберігання параметрів та характеристик їх радіоканалів, задля автоматизованого розпізнавання типу БпАК та забезпечення протидії йому.

**Виклад основного матеріалу.** Для забезпечення можливості розпізнавання типу БпАК за його радіосигналами та виконання подальших заходів із протидії база даних радіосигналів повинна містити інформацію як про параметри сигналів радіоканалів БпАК, за якими можна здійснити ідентифікацію його типу, так і про основні ТТХ та ефективні способи протидії йому.

Залежно від призначення та особливостей побудови в БпАК може бути реалізовано декілька радіоканалів, які функціонально можна розділити на чотири групи: командний; телеметрії; передачі цільової інформації; резервний. Командний радіоканал використовується для передачі команд із СКК на БпЛА (зміна параметрів руху, керування цільовим навантаженням тощо). Радіоканал телеметрії слугує для передачі інформації із БпЛА на СКК (параметри бортових систем, положення БпЛА в просторі, швидкість руху,

параметри роботи навігаційного обладнання тощо). Радіоканал передачі цільової інформації призначений для передачі даних від цільового навантаження БпЛА на СКК (передача відео із бортової камери тощо). Резервний радіоканал використовується для передачі команд управління та телеметрії в разі виходу з ладу основного командного (командно-телеметричного) радіоканалу.

Аналіз наявної інформації про структуру та параметри радіосигналів БпАК, а також відомі методи й алгоритми виявлення та розпізнавання типу БпАК [2, 5, 8–12] показав, що як ознаки для ідентифікації можна використовувати такі характеристики та параметри радіосигналів:

- амплітудно-частотний спектр (АЧС);
- спектрограму;
- частотний діапазон роботи радіоканалу;
- ширину накопиченого АЧС;
- ширину АЧС одного частотного елемента;
- метод та параметри розширення спектра радіосигналу;
- вид та параметри модуляції радіосигналу;
- часові положення та амплітуду піків автокореляційної функції (АКФ);
- сталі символні послідовності.

Для забезпечення вжиття своєчасних заходів із протидії виявленим БпАК до бази даних їх радіосигналів необхідно включити інформацію про призначення, основні ТТХ БпАК, зовнішній вигляд БпЛА, частотні діапазони роботи приймачів супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) та рекомендації з протидії кожному типу БпАК.

Після виявлення та ідентифікації типу БпАК за його радіосигналами наявна в базі даних інформація має забезпечувати, за необхідності, підтвердження визначеного типу БпАК шляхом порівняння фото БпЛА із отриманим засобами візуального спостереження. Крім того, зосереджена в базі інформація щодо способів протидії БпАК повинна забезпечити виконання підрозділами, що функціонують у системі боротьби з БпАК, реалізацію заходів із ефективної протидії (маскування, зміна позиції, радіоподавлення, вогневе ураження тощо).

Отже, база даних має містити інформацію, яку можна подати в табличному вигляді, що дозволяє її реалізувати відповідно до принципів організації реляційних баз даних, які широко застосовуються в теперішній час [13–14]. Розповсюдження реляційних баз даних пов'язане із низкою їх переваг, серед яких: зручність роботи з даними; простота й доступність розуміння користувачем; можливість використовувати складні високорівневі запити; легкість масштабування без порушення структури бази даних; для організації запитів і написання прикладного програмного забезпечення не потрібно знати її конкретну організацію в зовнішній пам'яті. У реляційних базах інформація систематизована у вигляді набору формально описаних таблиць, із яких дані можуть бути доступними або повторно зібраними багатьма різними способами без необхідності реорганізації таблиць цілої бази.

Відповідно до викладеного вище та відомих підходів до організації реляційних баз даних розроблено структуру бази даних, яка зображена на рис. 1.

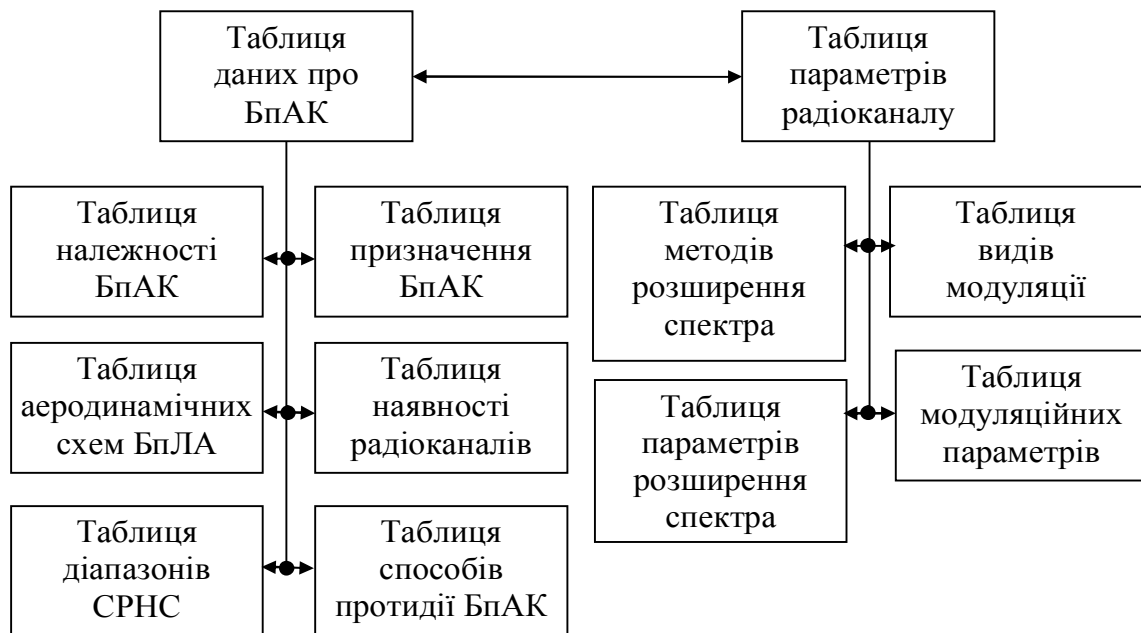


Рис. 1. Структура бази даних радіосигналів БпАК

База даних радіосигналів БпАК складається із таких 12 таблиць:

- таблиця даних про БпАК;
- таблиця параметрів радіоканалу;
- таблиця належності БпАК;
- таблиця призначення БпАК;
- таблиця аеродинамічних схем БпЛА;
- таблиця діапазонів СРНС;
- таблиця ідентифікаторів наявності (суміщеності) радіоканалів;
- таблиця методів розширення спектра радіосигналу;
- таблиця видів модуляції радіосигналу;
- таблиця параметрів розширення спектра;
- таблиця параметрів модуляції;
- таблиця способів протидії БпАК.

У таблиці даних про БпАК міститься така інформація: назва (тип); належність до своїх військ чи військ противника; призначення; аеродинамічна схема; опис основних ТТХ БпАК; зображення БпЛА; наявність (суміщеність) командного радіоканалу; ідентифікатор рядка таблиці параметрів радіоканалу, де міститься інформація про параметри командного радіоканалу; наявність (суміщеність) телеметричного радіоканалу; ідентифікатор рядка таблиці параметрів радіоканалу, де міститься інформація про параметри телеметричного радіоканалу; наявність (суміщеність) радіоканалу передачі цільової інформації; ідентифікатор рядка таблиці параметрів радіоканалу, де міститься інформація про параметри радіоканалу передачі цільової інформації; наявність (суміщеність) резервного радіоканалу; ідентифікатор рядка таблиці параметрів радіоканалу, де міститься інформація про параметри резервного радіоканалу; перелік частотних діапазонів СРНС, які використовує БпЛА; дата та час внесення (зміни) даних; ідентифікатор користувача, що додав (змінив) дані.

У таблиці параметрів радіоканалу вказано: назву радіоканалу; мінімальну / максимальну частоту робочого діапазону; ширину накопиченого АЧС; ширину АЧС частотного елемента; метод та параметри розширення спектра; вид модуляції; модуляційні параметри; зображення АЧС сигналу; зображення спектрограми сигналу; сталі символічні послідовності; дату та час внесення (зміни) даних; рівень достовірності інформації; ідентифікатор користувача, що додав (змінив) дані.

Пропонуємо використовувати чотири рівні достовірності інформації про параметри радіоканалів БпАК:

перший, якщо дані про радіосигнали отримані шляхом радіоперехоплення за високої ймовірності знаходження в цьому районі вказаного типу БпАК;

другий, якщо дані про радіосигнали отримані шляхом аналізу технічних описів радіоелементної бази, що використовується в радіоканалах БпАК (інформація про радіоелектронні компоненти може бути отримана шляхом аналізу непрацездатних трофейних зразків);

третій, якщо дані про радіосигнали отримані шляхом радіоперехоплення в разі знаходження в заданому районі вказаного типу БпАК (підтверджено візуально або іншим засобом розвідки), за умови, що напрямок надходження сигналу (пеленг) відповідає напрямку реального місцезнаходження БпЛА (СКК);

четвертий, якщо дані про радіосигнали отримані шляхом запису та аналізу сигналів радіоканалів трофейних БпЛА та СКК.

*Таблиця належності БпАК* містить перелік можливих значень: противника; своїх військ; загального користування; належність невідома.

До БпАК загального користування належать ті, які можуть застосовуватися як підрозділами своїх військ, так і противником. Наприклад, моделі БпАК виробництва компаній SZ DJI Technology Co. та Autel Technology, FPV-БпЛА із радіомодулями, що використовують відомі протоколи передачі даних (CROSSFIRE, ExpressLRS, FrSky D8 (D16, ACCESS) тощо).

*Таблиця призначення БпАК* містить перелік можливих значень: розвідувальний; ударний; розвідувально-ударний; багатоцільовий; ударний камікадзе; радіоелектронної розвідки; радіоелектронної боротьби; мішень; для спеціальних завдань; призначення невідоме.

*Таблицею аеродинамічних схем БпЛА* передбачено: літак; крило; Х-літак; коптер; аеродинамічна схема невідома.

*Таблиця наявності радіоканалів* містить перелік можливих значень даних про присутність в БпАК радіоканалів або їх суміщеність: присутній; відсутній; суміщений із командним / телеметричним / резервним радіоканалом або із радіоканалом передачі даних.

*Таблиця діапазонів СРНС* надає такий перелік діапазонів роботи апаратури споживачів СРНС БпЛА: GpsL1; GpsL2; GpsL5, GalileoE1; GalileoE5a; GalileoE5ap; GalileoE5b; GalileoE6; BeidouB1C; BeidouB1I; BeidouB3; BeidouB2; BeidouB2a; GlonassL1; GlonassL2; діапазони невідомі. Частотні діапазони та основні параметри радіосигналів вказаних СРНС подано в [15]. Також у таблиці міститься ідентифікатор наявності та тип перешкодозахищеної антенної системи приймання радіосигналів СРНС (controlled reception pattern antenna (CRPA)).

Таблиця методів розширення спектра містить перелік можливих значень: відсутнє; FHSS, DSSS, розширення невідоме.

Таблиця видів модуляції надає такий перелік: AM, ASK2, ASK4, MSK, GMSK, FSK2, FSK4, FSK8, FSK16, FSK32, FSK64, PSK2, PSK4, PSK8, PSK16, PSK- $\pi/4$ , OFDM, LFM, QAM4, QAM8, QAM16, QAM32, QAM64, QAM128, QAM256, QAM512, модуляція невідома.

Хоча лінійна частотна модуляція (linear frequency modulation (LFM)) по суті є методом розширення спектра сигналу, у запропонованій базі даних її віднесено до видів модуляції, оскільки багато радіоканалів БпАК використовують радіосигнали з комбінуванням LFM та псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти (frequency hopping spectrum spreading (FHSS)) [5].

Таблиця параметрів розширення спектра містить перелік можливих значень: мінімальна / максимальна тривалість частотного елемента; швидкість FHSS; крок сітки FHSS; мінімальна / максимальна кількість частот FHSS.

Таблицею модуляційних параметрів передбачено такі значення: символна швидкість; девіація частоти; тривалість інформаційного символу; кількість підканалів OFDM; символна швидкість підканалу OFDM; вид модуляції підканалу OFDM; фактор розширення LFM сигналів.

До таблиць належності, призначення, аеродинамічних схем БпАК, діапазонів СРНС, методів та параметрів розширення спектра, видів та параметрів модуляції можуть, за необхідності, додаватися нові значення.

Таблиця способів протидії БпАК містить відповідну інформацію та рекомендації щодо протидії.

Запропонована структура бази даних радіосигналів БпАК реалізована в спеціальному програмному забезпеченні (СПЗ), головне вікно якого зображено на рис. 2.

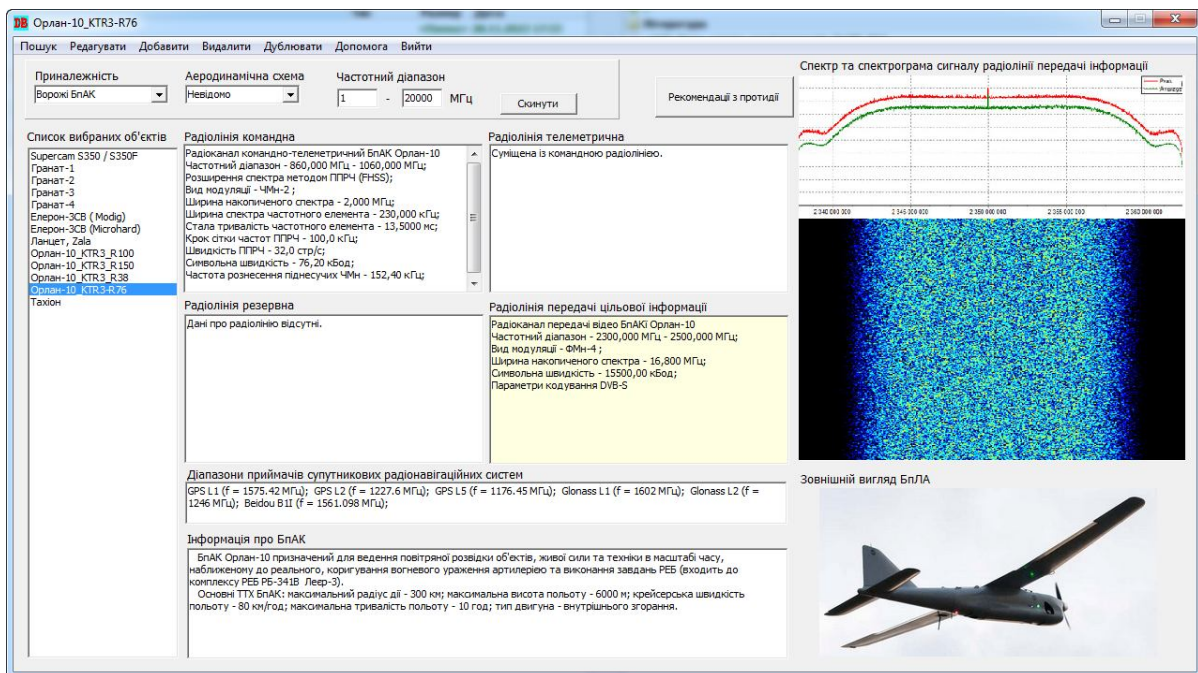


Рис. 2. Головне вікно бази даних для автоматизованого розпізнавання типу БпАК за його радіосигналами

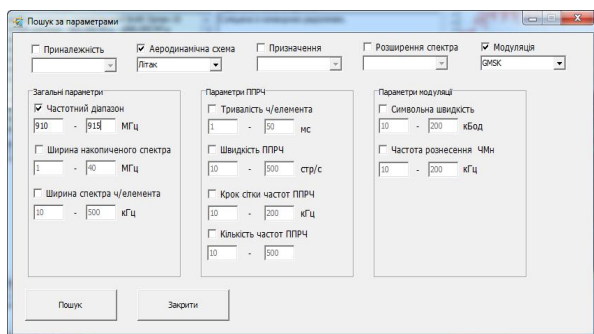
СПЗ дозволяє здійснювати перегляд, редагування, копіювання, додавання нової інформації про БпАК, параметри та характеристики їх радіоканалів, а також пошук і фільтрування за заданими параметрами.

У головному вікні СПЗ одночасно відображається вся наявна інформація про БпАК, параметри та характеристики їх радіосигналів, а саме:

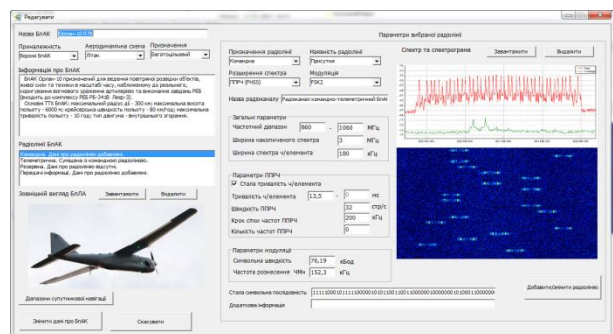
- перелік БпАК, які містяться в базі;
- параметри радіоканалів вибраного БпАК;
- АЧС та спектрограма сигналу виділеного радіоканалу вибраного БпАК;
- перелік та центральні частоти діапазонів роботи модулів СРНС вибраного БпАК;
- призначення та основні ТТХ вибраного БпАК;
- зовнішній вигляд БпЛА вибраного БпАК;
- елементи швидкого пошуку та фільтрування БпАК;
- меню інструментів роботи із базою даних.

Інформація, що одночасно відображається в головному вікні СПЗ, вибрана таким чином, щоб оператор мав можливість бачити кількість радіоканалів, які використовує БпАК та їх основні параметри, а також діапазони роботи СРНС. У процесі розвідки ця інформація дозволяє швидко налаштовувати радіоприймальні пристрої на можливі діапазони частот радіоканалів БпАК, а в ході радіоподавлення обрати необхідні параметри радіоперешкод. Наявність зображень АЧС та спектрограми дозволяє, у разі неможливості визначення параметрів радіосигналів, здійснити розпізнавання візуально, порівнявши їх із отриманими зображеннями наявним засобом розвідки. Основні ТТХ та призначення БпАК надають можливість попередньо оцінити загрозу, яку він становить.

У СПЗ реалізовано пошук типу БпАК за наявними даними про параметри радіоканалів із використанням відповідного пункту меню та забезпечено можливість запуску виконавчого файлу бази даних із вхідними параметрами, що передаються, із стороннього програмного забезпечення. Вікно задання вихідних даних для пошуку БпАК зображено на рис. 3а. Крім параметрів радіосигналів під час пошуку БпАК можна задати їх належність, аеродинамічну схему та призначення. Додавання та зміна даних про БпАК здійснюється у вікні редагування, що запускається з використанням відповідного пункту меню (рис. 3б).



а)



б)

Рис. 3. Модальні вікна СПЗ: а) пошуку типу БпАК за параметрами їх радіосигналів; б) додавання нових та редагування наявних даних про БпАК

Програмне забезпечення бази радіосигналів БпАК може застосовуватися разом із програмним забезпеченням технічного аналізу радіосигналів, отримуючи за вхідні дані їх оцінені параметри. У такому разі за оціненими параметрами автоматично здійснюється пошук БпАК, параметри радіосигналів яких мають близькі значення до вхідних.

Приклад комплексного використання СПЗ автоматизованого визначення модуляційних параметрів радіосигналу та розробленої бази даних для розпізнавання типу БпАК наведено на рис. 4.

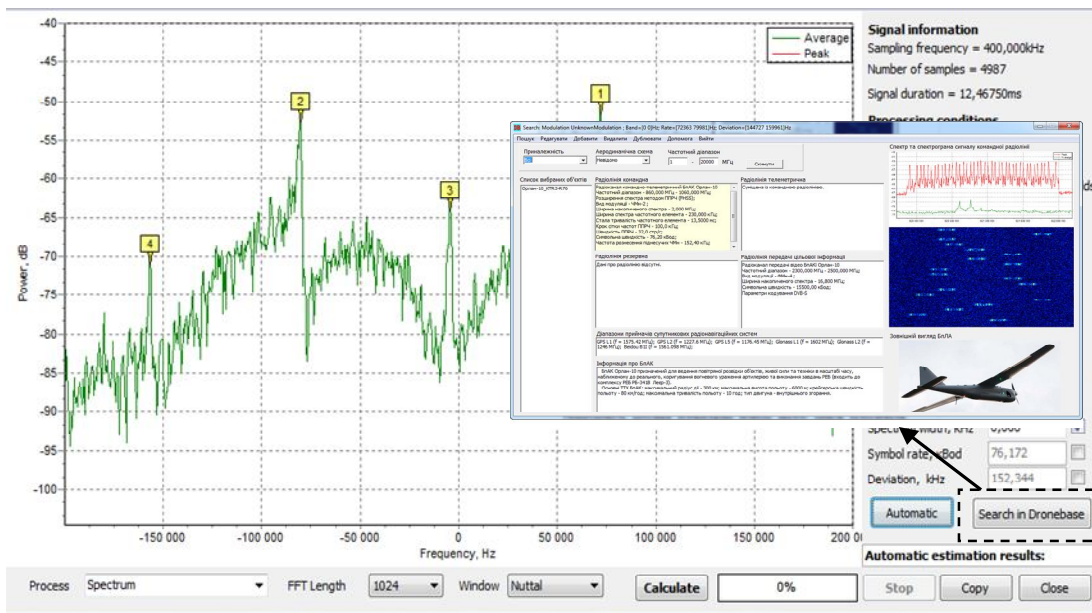


Рис. 4. Використання розробленої бази даних для розпізнавання типу БпАК

Після автоматизованого визначення модуляційних параметрів аналізованого радіосигналу (рис. 4) запускається база даних, у якій автоматично здійснюється пошук та відображається отриманий результат щодо розпізнавання типу БпАК.

**Висновки.** Запропонована структура бази даних радіосигналів БпАК побудована відповідно до принципів організації реляційних баз даних та складається з набору формально описаних таблиць, у яких зберігається інформація, що дозволяє ідентифікувати тип БпАК за параметрами та характеристиками його радіосигналів. Крім того, наявна в ній інформація додатково забезпечує планування заходів із протидії розпізаному БпАК. Розроблене програмне забезпечення бази даних дозволяє здійснювати перегляд, редагування, копіювання, додавання нової інформації про БпАК, характеристики їх радіоканалів, а також пошук та фільтрування за заданими параметрами.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні структури бази даних радіосигналів БпАК, що дозволяє реалізувати автоматизоване розпізнавання його типу та планування заходів із протидії йому.

Перспективи досліджень у даному напрямку полягають в розробленні алгоритмів системи підтримки прийняття рішень, які дозволять за наявною інформацією формувати пропозиції щодо найбільш ефективної протидії виявленому БпАК, та їх інтегруванні в СПЗ запропонованої бази даних.



**СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ**

1. Коршець О., Горбенко В. Уроки застосування безпілотних літальних апаратів у російсько-українській війні // Повітряна міць України. 2023. № 1 (4). С. 9–17. <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-1-4-9-17>
2. ПВП 3-00(27)253. Методичні рекомендації щодо радіоелектронної протидії безпілотним літальним апаратам “Ланцет”. 2023. 24 с.
3. Огляд та аналіз світового досвіду боротьби з ударною безпілотною авіацією / А. Г. Єрилкін, Д. О. Гур’єв, Д. В. Карлов та ін. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2022. № 4 (49). С. 15–22. <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.49.02>
4. ДСТУ 7371:2020 Техніка авіаційна державної авіації. Апарати літальні безпілотні. Основні терміни та визначення понять. Класифікація. УкрНДнц. 2021. 12 с.
5. Нагорнюк О. Методика розпізнавання типу безпілотного авіаційного комплексу за його радіосигналами // Зб. наук. праць Держ. наук.-досл. ін-ту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2023. № 3 (17). С. 63–73. <https://doi:10.37701/dndivsovt.17.2023.08>
6. Liu K., Xiang X., Yin L. Radio frequency database construction and modulation recognition in wireless sensor networks // Air Force Engineering University. China. 2022. 17 p. <https://doi.org/10.3390/s22155715>
7. Stafeev D., Ronkin M. Data collection for classification of radio signals using SDR transceivers // Radioelectronics and Information Technology. 2023. P. 194–197. <https://doi:10.1109/USBREIT58508.2023.10158899>
8. DroneRF dataset: A dataset of drones for RFbased detection, classification and identification / Allahham S., Al-Sa'd M., Al-Ali A. et al. // Elsevier. 2019. 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104313>
9. Wang G., Miao H. UAV data link system: A survey // Scientific journal of intelligent systems research. 2021. Vol. 3, Iss. 11. P. 93–102.
10. On the detection of unauthorized drones – techniques and future perspectives: a review / M. Khan, H. Menouar, A. Eldeeb et al. // IEEE Sensors. 2022. Vol. 22, № 12. P. 11439–11455. <https://doi:10.1109/JSEN.2022.3171293>
11. Applications, deployments, and integration of Internet of Drones (IoD): A review / L. Abualigah, A. Diabat, P. Sumari et al. // IEEE Sensors. 2021. Vol. 21, № 22. P. 25532–25546. <https://doi:10.1109/JSEN.2021.3114266>
12. Detection, tracking, and interdiction for amateur drones / I. Guvenc, F. Koohifar, S. Singh et al. // IEEE Commun. Mag. 2018. Vol. 56, № 4. P. 75–81. <http://dx.doi.org/10.1109/mcom.2018.1700455>
13. Гайдаржи В. І., Ізварін І. В. Бази даних в інформаційних системах. Київ : УН-т “Україна”, 2018. 418 с.
14. Davidson L. Pro SQL server relational database design and implementation: best practices for scalability and performance 6th ed. Apress. 2020. 1183 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4842-6497-3>
15. Description of systems and networks in the radionavigation-satellite service (space-to-Earth and space-to-space) and technical characteristics of transmitting space stations operating in the

bands 1164–1215 MHz, 1215–1300 MHz and 1559–1610 MHz. Recommendation ITU-R M.1787-4. 2022. 56 p.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2023.

## REFERENCES

1. Korshets, O., & Horbenko, V. (2023). Uroky zastosuvannya bezpilotnykh litalnykh aparativ u rosiisko-ukrainskii viini [Lessons from the Use of Unmanned Aerial Vehicles in the Russian-Ukrainian War]. *Povitriana mits Ukrainy [Air Force of Ukraine]*, 1(4), 9–17. <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-1-4-9-17> [in Ukrainian].
2. PVP 3-00(27)253. *Metodychni rekomendatsii shchodo radioelektronnoi protydiv bezpilotnym litalnym aparatam "Lantset" [Methodical Recommendations for Radio-Electronic Countermeasures Against Unmanned Aerial Vehicles "Lancet"]*. (2023) [in Ukrainian].
3. Yerylkin, A. H., Hur'iev, D. O., Karlov, D. V., Korobetskyi, O. V., & Shevchenko, Yu. A. (2022). Ohliad ta analiz svitovoho dosvidu borotby z udarnoiu bezpilotnoi aviatsiieiu [Review and Analysis of World Experience in Combating Strike Unmanned Aerial Vehicles]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine]*, 4(49), 15–22. <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.49.02> [in Ukrainian].
4. DSTU 7371:2020 *Tekhnika aviatsiina derzhavnoi aviatsii. Aparaty litalni bezpilotni. Osnovni terminy ta vyznachennia poniat. Klasyfikatsiia [Aviation Equipment of State Aviation. Unmanned Aerial Vehicles. Basic Terms and Definitions. Classification]*. (2021). Kyiv [in Ukrainian].
5. Nahorniuk, O. (2023). *Metodyka rozpoznavannia typu bezpilotnoho aviatsiinoho kompleksu za yoho radiosygnalamy [The Method of Identifying the Type of Unmanned Aviation Complex by Its Radiosignals]*. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho nauково-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky [Scientific Publications of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification]*, 3(17), 63–73. <https://doi:10.37701/dndivsovt.17.2023.08> [in Ukrainian].
6. Liu, K., Xiang, X., & Yin, L. (2022). Radio Frequency Database Construction and Modulation Recognition in Wireless Sensor Networks. *Air Force Engineering University*. China. <https://doi.org/10.3390/s22155715>
7. Stafeev, D., & Ronkin, M. (2023). Data Collection for Classification of Radio Signals Using SDR Transceivers. *Radioelectronics and Information Technology*, 194–197. <https://doi:10.1109/USBREIT58508.2023.10158899>
8. Allahham, S., Al-Sa'd, M., Al-Ali, A., Mohamed, A., & Khattab, T. (2019). DroneRF Dataset: A Dataset of Drones for RFbased Detection, Classification and Identification. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104313>
9. Wang, G., & Miao, H. (2021). UAV Data Link System: A Survey. *Scientific Journal of Intelligent Systems Research*, Vol. 3, Iss. 11, 93–102.
10. Khan, M., Menouar, H., Eldeeb, A., Abu-Dayya, A., & Salim, F. (2022). On the Detection of Unauthorized Drones – Techniques and Future Perspectives: A Review. *IEEE Sensors*, Vol. 22, № 12, 11439–11455. <https://doi:10.1109/JSEN.2022.3171293>

11. Abualigah, L., Diabat, A., Sumari, P., & Gandomi, H. (2021). Applications, Deployments, and Integration of Internet of Drones (IoD): A Review. *IEEE Sensors*, Vol. 21, № 22, 25532–25546. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3114266>
12. Guvenc, I., Koohifar, F., Singh, S., Sichitiu, M., & Matolak, D. (2018). Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones. *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 56, № 4, 75–81. <http://dx.doi.org/10.1109/mcom.2018.1700455>
13. Haidarzhy, V. I., & Izvarin, I. V. (2018). *Bazy danykh v informatsiynikh systemakh [Databases in Information Systems]*. Kyiv [in Ukrainian].
14. Davidson, L. (2020). *Pro SQL Server Relational Database Design and Implementation: Best Practices for Scalability and Performance*. (6th ed.). Apress. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4842-6497-3>
15. *Description of Systems and Networks in the Radionavigation-Satellite Service (Space-to-Earth and Space-to-Space) and Technical Characteristics of Transmitting Space Stations Operating in the Bands 1164–1215 MHz, 1215–1300 MHz and 1559–1610 MHz. Recommendation ITU-R M.1787-4*. (2022).

**O. A. Nahorniuk**

#### **DATA BASE OF RADIO SIGNALS OF UNMANNED AVIATION COMPLEXES**

*The detection and technical analysis of the radio transmitters radiation of the unmanned aerial complexes elements allows to establish the fact of their use of and to identify type. Recognizing the type of unmanned aerial complex by their radio signals is carried out by comparing the estimated parameters of radio signals with known values stored in the database. The structure of the unmanned aerial complexes radio signal database based on the relational data model is proposed in the article. It is a set of interdependent two-dimensional tables that store information about parameters and characteristics of radio signals of control, telemetry and data radio lines, operating frequencies of receivers of the global navigation satellite systems, as well as purpose, belonging, aerodynamic scheme, appearance, main tactical and technical characteristics and recommendations for countermeasures. Information about the characteristics of unmanned aerial complex channels radio signals contains data on the frequency bands of the radio channel, spread spectrum parameters, modulation parameters, images of amplitude-frequency spectra and spectrograms. The use of the information collected in the database makes it possible to recognize the unmanned aerial complex type by its radio signals and to make a decision about the frequency bands in which the suppression of radio channel receivers, navigation equipment will be carried out, and to choose the most effective radio interference. Special software of the unmanned aerial complexes radio signal database was developed in accordance with the proposed structure. Special software allows you to view, edit, copy, add new information about unmanned aerial complexes, parameters and characteristics of their radio channels, as well as search. The special software user interface provides a simultaneous view of all information about unmanned aerial complex, parameters and characteristics of its radio signals.*

**Keywords:** database; radio signal; unmanned aircraft complex; parameter; characteristic; identification; countermeasure; special software.