УДК 621.391

DOI: 10.30748/nitps.2020.41.14

О.А. Малишев¹, М.Р. Арасланов¹, С.В. Белай², В.В. Сидоров¹, І.С. Бабенко¹, А.О. Астахов¹¹ Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків² Національна академія Національної гвардії України, Харків

ІМІТАТОР ПОВІТРЯНО-ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ “ВІРАЖ-РД” ДЛЯ ОГЛЯДОВИХ АНАЛОГОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ

Для якісного навчання бойових обслуг радіолокаційних станцій радіотехнічних військ доцільно використовувати імітатори повітряно-завадової обстановки, яка була б максимально наближена до реальної. Запропоновано імітатор, модель нальоту в якому програмується в персональних електронно-обчислювальних машинах, а відображення обстановки здійснюється на штатних індикаторах кругового огляду радіолокаційних станцій. Для їх зв'язку з комп'ютером розроблені пристрої спряження, які здійснюють синхронізацію роботи та перетворення цифрової інформації у аналогову з подальшою передачею її на радіолокаційну станцію. Для створення повітряно-завадової обстановки використовується система оперативно-тактичних розрахунків та імітаційного моделювання бойових дій “Віраж-РД”. Пристрій спряження виконаний з використанням COTS-технологій на базі сімейства плат Arduino, що дає змогу зробити імітатор низьковартісним. Розроблений імітатор доцільно використовувати в якості тренажно-імітаційного комплексу при навчанні бойових обслуг радіолокаційних станцій.

Ключові слова: навчання, радіолокаційна станція, імітатор, повітряно-завадова обстановка, система “Віраж-РД”, пристрій спряження, плата Arduino.

Вступ

Постановка проблеми. При підготовці фахівців радіотехнічних військ (РТВ) важливе значення має спроможність виконання ними нормативів бойової роботи, зокрема, з питань ведення радіолокаційної розвідки [1–2]. Одним із шляхів досягнення необхідного рівня їх підготовки є застосування імітаційних пристроїв, які створюють на екранах індикаторів кругового огляду (ІКО) радіолокаційних станцій (РЛС) різноманітні варіанти повітряно-завадової обстановки (ПЗО).

Існуючі на сьогодні імітатори в певній мірі задовольняють вимогам щодо підготовки операторів РЛС на початковому етапі, забезпечуючи формування декількох десятків трас цілей. Однак можливостей у наближенні повітряної обстановки на екранах ІКО до реальної ці імітатори не мають.

Описана ситуація обумовлена тим, що більшість існуючих імітаторів має такі властивості:

1. Відбитий сигнал представляється стандартними імпульсами, амплітуда яких залежить тільки від дальності до цілі. При цьому не враховуються явища розсіювання електромагнітної енергії аеродинамічними цілями, які носять ймовірнісний характер. В свою чергу це не дозволяє наблизити до реальних окремі параметри цілей, а саме: амплітуду імпульсу та її координати.

2. При створенні завадової обстановки параметри завад суттєво відрізняються від тих, які характерні для сучасних постановників активних та пасивних завад.

3. “Троянда” місцевих предметів на ІКО, як правило, має однаковий рівень за амплітудою та “правильні” межі, або взагалі відсутня.

4. Врахування радіогоризонта при розповсюдженні радіохвиль не здійснюється.

5. Можливості щодо їх спряження з РЛС різних класів обмежені.

6. Висока вартість та великі масо-габаритні показники.

Окремо слід відмітити, що стрімкий розвиток засобів повітряного нападу (ЗПН) тягне за собою суттєве розширення їх бойових можливостей та обумовлює постійне корегування тактичних прийомів застосування цих засобів [3–5]. Але оперативно вносити відповідні зміни у існуючі імітатори складно та нецільно, оскільки вони розміщуються у різних (територіально рознесених) підрозділах.

Отже, імітатори, які сьогодні використовуються для тренування операторів РЛС, не задовольняють вимогам щодо створення ними на екрані ІКО ПЗО, яка б була адекватна реальній обстановці. Як наслідок, особи, які навчаються за допомогою наявних імітаторів, як правило, показують значно кращі результати, чим при роботі на РЛС в реальних умовах.

Можливим шляхом удосконалення таких імітаторів є доопрацювання існуючих в них алгоритмів формування ПЗО, і відповідно переведення їх на більш сучасну елементну базу. Але такий напрямок тягне за собою відносно часту модернізацію імітаторів внаслідок постійного удосконалення ЗПН та способів їх застосування.

Тому більш раціональним напрямком є розробка імітаторів з модульною побудовою: персональна електронно-обчислювальна машина (ПЕОМ) з відповідним програмним продуктом та пристрій спряження ПЕОМ з РЛС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури, присвяченої питанням розробки та удосконалення імітаторів повітряної обстановки для оглядових РЛС "старого" парку, показує, що основна увага приділяється доопрацюванню існуючих імітаторів [6–9]. Створення імітаторів на базі ПЕОМ розглядається як сучасний (в окремих випадках, як перспективний) напрямок, і відповідно стоїть у більшій мірі новітніх засобів радіолокації [10]. Застосування імітаторів останнього типу для аналогових РЛС розглянуто в [11] лише на рівні пропозицій.

Метою статті є розробка варіанта побудови малогабаритного імітатора ПЗО на базі ПЕОМ для оглядових аналогових РЛС, який дозволить створювати поточну обстановку, максимально наближену до реальної, а також враховувати радіолокаційні властивості імітованих ехосигналів та завад, що "надходять" на РЛС, "розміщених" на обраних позиціях.

Виклад основного матеріалу

Для підготовки операторів РЛС "старого" парку в період 70...80-х років минулого століття було розроблено декілька типів імітаторів, які на той час мали достатньо високі показники. Одним з таких імітаторів був пристрій типу "Мікро-36", який дозволяв імітувати відеосигнали повітряних цілей, пасивних і активних завад, а також внутрішніх шумів приймального тракту РЛС із регулюванням амплітуди кожного з цих відеосигналів.

Імітована радіолокаційна обстановка наносилась на перфострічку (як правило, паперову) на обчислюваних центрах з урахуванням схеми нальоту та тактичного задуму. В пристрої "МІКРО-36" ця стрічка пропускала через фотозчитувач, і відповідна програма нальоту відображалась на екранах індикаторів РЛС (або ІКО типу "ПІКЕТ").

Імітатор "МІКРО-36" мав наступні можливості щодо імітації ПЗО: кількість цілей – 36; кількість активних завад – 18; кількість пасивних завад – 2; кількість ІКО, з якими можливе одночасне спряження, – 4; максимальна тривалість однієї програми, яка містить 36 цілей, – 60 хв.

Дещо пізніше (у 80-х роках минулого століття) був розроблений та застосовувався у військах імітатор типу УЦ-10А, який призначався для імітації повітряної обстановки на індикаторах РЛС (типу 19Ж6, 35Д6) та комплексів засобів автоматизації (КЗА) з метою навчання та тренування обслуговування РЛС.

Імітований наліт також наносився на перфострічку, яка вставлялася в фотозчитувальний пристрій шафи УЦ-10, де інформація вводилася в оперативну пам'ять процесора. При ввімкненні процесора в режим імітації на екранах ІКО спряжених виробів (РЛС, КЗА) або автономних індикаторів відображалась імітована ПЗО в поточному масштабі часу.

Імітатор УЦ-10А мав такі можливості щодо імітації ПЗО: імітовані цілі – 32, відмітки від місцевих предметів – 12, відмітки залишків від пасивних завад – 20, випадкові відмітки – 32.

Окремим типом імітатора був вбудований в апаратуру РЛС 5Н84А пристрій, який дозволяв не лише імітувати ПЗО, а й контролювати параметри окремих систем станції, зокрема: системи селекції рухомих цілей (СРЦ), виконаної на базі потенціало-скопів; системи захисту від активних шумових завад (АШЗ), реалізованої на гетеродинному автокомпенсаторі; системи пеленгування постановників завад.

Такий імітатор міг формувати ехосигнали чотирьох групових або поодиноких цілей Ц1,...,Ц4. При цьому цілі Ц1 і Ц3 формувались незалежно, а цілі Ц2 і Ц4 були лише копіями цілей Ц1 і Ц3 та відрізнялись від них лише азимутами. Траси цілей можна було задавати тільки трьох видів: радіальна лінія, хорда і одновиткова спіраль. АШЗ формувались як безперервно, так і у визначеному секторі. Пасивні завади являли собою два дальнісно-азимутальні сектори.

Загальною особливістю зазначених вище імітаторів є те, що вони були виконані на застарілій елементній базі: електровакуумні прилади, транзистори, мікросхеми малого ступеню інтеграції, фотозчитувачі з використанням паперової стрічки, тощо. Відповідно, вони мали обмежені можливості щодо формування ПЗО, великі габарити, низьку надійність, тощо. Зазначені недоліки спричинили те, що протягом вже більше десяти років такі типи імітаторів фактично не використовуються при підготовці операторів РЛС.

Таким чином, у питаннях підготовки обслуговування РЛС РТВ наприкінці 20-х років склалася ситуація, при якій кількість засобів радіолокації "старого" парку залишається ще чималою, а спроможність імітаційних пристроїв створювати ПЗО у відповідності з сучасністю є занадто слабкою. При цьому удосконалювати такі пристрої, як показала практика, стало недоцільним.

Для виходу з ситуації, що склалася, пропонується виконувати імітатори ПЗО на базі ПЕОМ, завдяки чому можна моделювати обстановку будь-якої складності з широкими можливостями щодо оперативної її зміни.

Для відображення розроблених на ПЕОМ моделей ПЗО на екрані ІКО оглядових РЛС "старого"

парку достатньо розробити пристрій спряження, який би перетворював цифрові сигнали з виходу ПЕОМ у аналоговий вигляд з подальшою їх подачею на апаратуру РЛС. Для синхронної роботи станцій з імітатором необхідно з РЛС подавати відповідні імпульси (ЗАПУСК, ПІВНІЧ, тощо) зворотно на ПЕОМ (рис. 1).

Рис. 1. Загальна схема імітатора ПЗО з використанням ПЕОМ

Джерело: розроблено авторами.

Для розробки імітатора зазначеного типу доцільно сформулювати до нього певні вимоги, які умовно можна поділити на технічні та тактичні [1; 7; 9; 11].

До тактичних вимог слід віднести наступні:

- формування моделі нальоту повинно здійснюватись у відповідності з поставленими тактичними (оперативно-тактичними) завданнями;

- траєкторні розрахунки необхідно проводити з урахуванням траєкторії польоту та траєкторних параметрів конкретної цілі, а також координат РЛС;

- завадова обстановка має бути максимально наближеною до реальної;

- в точці розміщення РЛС повинні врахуватись не лише її координати, а й рельєф місцевості, кути закриття, радіогоризонт, тощо.

До технічних вимог можна віднести наступні:

- моделювання ехосигналів необхідно проводити з урахуванням не лише дальності до цілей і значень їх ефективної поверхні розсіювання (ЕПР), а й зважаючи на інші радіолокаційні властивості цілей, зокрема, наявність та кількість блискучих точок, інтерференцію відбитих від них сигналів, тощо;

- імітатор повинен враховувати можливість роботи конкретної РЛС в різних режимах, притаманних лише обраній станції;

- пристрій спряження має бути невеликих розмірів та без труднощів підключатись до ПЕОМ та РЛС інструкторами й особами бойових обслуг;

- інтерфейс програми створення поточної ПЗО має бути зручним при підготовці до тренування операторів РЛС.

З урахуванням зазначених вимог для реалізації імітатора, схема якого зображена на рис. 1, пропонуються наступні рішення.

Створення повітряної обстановки можна виконати двома шляхами.

Перший з них полягає у використанні реальних трас польоту повітряних об'єктів, які відбувались раніше. За умов збереження такої інформації на за-

пам'ятовуючих пристроях ПЕОМ є реальна можливість впровадити ці траси в імітатор і в подальшому відтворювати їх необмежену кількість разів в повному чи скороченому вигляді.

Другий варіант створення повітряної обстановки передбачає автоматизоване формування трас для кожного повітряного об'єкту з урахуванням його типу (винищувач, бомбардувальник, гелікоптер, цивільний літак тощо). При цьому розробник трас повинен мати відповідні знання щодо можливостей та особливостей польоту повітряних об'єктів кожного класу, зокрема, з урахуванням досвіду останніх локальних війн та військових конфліктів, зокрема, при веденні операції Об'єднаних Сил.

В той же час слід відзначити, що автоматизований спосіб формування повітряної обстановки повинен займати невеликий час і відповідно передбачати мінімальну кількість операцій.

Вибір одного із зазначених варіантів (або одночасно двох) буде визначатись поставленими завданнями та поточними умовами. Незалежно від вибору способу формування ПЗО, імітатор повинен відображати не менше 60 цілей різних типів, які здійснюють політ в діапазонах:

- по висоті – від 50 м до 50 км;
- по дальності – від 0 до 600 км;
- по азимуту – від 0° до 360°;
- по швидкості – від 0 до 3600 км/год.

Наступним кроком після формування моделі нальоту має бути розрахунок траєкторних параметрів польоту цілей відносно точок розміщення кожної з РЛС [12–13]. До таких параметрів відносяться: похила дальність до цілі, азимут та кут місця цілі, радіолокаційні курс, тангаж, крен і радіальна швидкість.

Для проведення траєкторних розрахунків, перш за все, необхідно знати координати "позиції" обраної РЛС (широта s_r , довгота d_r) і траєкторію польоту призначеної цілі.

Траєкторія польоту цілі може задаватись кусково-ламанною лінією. У кожному вузлі цієї лінії повинні бути визначені: широта s_c , довгота d_c , висота h_c та астрономічний час t . Необхідні дані для одержання цих параметрів можна взяти із заданої моделі нальоту.

Тоді за різницею координат двох сусідніх вузлів (Δs ; Δd ; Δh) можна визначити параметри руху цілі: тангаж η_c ; швидкість v та курс ψ . При цьому обов'язково враховується значення еквівалентного радіуса Землі.

Поточні координати цілі s_c , d_c , h_c на інтервалі часу Δt визначаються на підставі знань Δs ; Δd ; Δh і Δt .

Отримані координати досить просто перераховуються у сферичну (R , β , ε), циліндричну (R , β , h) і полярну (R , β) системи координат. При цьому також

слід враховувати параметр еквівалентного радіуса Землі.

На підставі цих значень далі розраховуються радіолокаційні параметри цілі: радіолокаційний курс ψ_r , радіолокаційний тангаж η_r , радіолокаційний крен γ_r , радіальна швидкість цілі v_r .

Для створення завадової обстановки, яка була б максимально наближена до реальної, доцільно моделювати такі види завад [2; 14]:

– активні: шумові, імпульсні (несинхронні, у відповідь);

– пасивні: у вигляді відбиттів від навмисних пасивних завад та від підстеляючої поверхні (для формування "троянди" місцевих предметів).

Моделі активних завад повинні мати характеристики, які б відповідали можливостям засобів постановки завад, що розміщуються на борту ЗПН (як сучасних, так і застарілих, але не знятих з озброєння).

Параметри моделей сигналів, відбитих від навмисних пасивних завад, також повинні відповідати можливостям таких постановників, розміщених на борту ЗПН.

При моделюванні відбиттів від підстеляючої поверхні доцільно виходити з наступного.

На сьогодні існує чимало різних методів опису електромагнітного поля над нерівними поверхнями [15–16]. Але дослідження показали, що теоретичні розрахунки не дозволяють одержувати достовірну оцінку радіолокаційних відбиттів від реальної земної поверхні. У дійсності, земна поверхня занадто складна, щоб її можна було адекватно описати за допомогою якої б то ні було теоретичної моделі. Крім того, до істотної апріорної невизначеності інтенсивності радіолокаційних відбиттів приводять постійні зміни в часі й у просторі параметрів середовища поширення радіохвиль, які точно врахувати практично неможливо.

Тому раціональною з погляду практичного використання є модель радіолокаційних відбиттів від місцевості, заснована не на складних і дуже громіздких електродинамічних методах розрахунку електромагнітного поля над нерівними неоднорідними поверхнями, а на більш простих методах імітаційного моделювання [17]. Ці методи засновані на використанні експериментальних даних про відбиваючі властивості конкретних видів підстильної поверхні і як можна більш точному описі вибраної місцевості.

Додатково можна відмітити, що віддзеркалення від кожної освітленої ділянки реальної земної поверхні є напіврозсіяним через наявність різних великомасштабних нерівностей, а також великої кількості дрібних і середніх нерівностей, які створюють так званий мікрорельєф. Реальні діаграми вторинного випромінювання таких статистично нерівних ділянок мають достатньо велику ширину по куту місця

(в більшості випадків більше 120°), і тому буде справедлива заміна цих ділянок точковими еквівалентними розсіювачами з відповідними інтегральними характеристиками.

Наступними факторами, які дозволяють відтворювати на екрані індикаторів кругового огляду ПЗО, наближену до реальної, є врахування параметрів обраної позиції РЛС, що дозволить:

– визначати форму і параметри діаграми спрямованості антени (ДСА);

– розраховувати кути закриття;

– оцінювати радіогоризонт відносно точки стояння РЛС та ін.

При визначенні форми та параметрів ДСА в кутомісцевій площині необхідне врахування впливу відбиттів від рельєфу місцевості. На сьогодні це є складною і поки що повністю невирішеною задачею. На поточний момент, як правило, використовується метод розрахунку ДСА, суть якого полягає в когерентному складанні прямих і перевідбитих радіохвиль при представленні нерівної земної поверхні навколо РЛС сіткою точкових розсіювачів з властивостями відбиваючих факетів.

Кути закриття для окремої РЛС необхідно враховувати при формуванні на екрані ІКО "троянди" місцевих предметів (відбиття зондуючих сигналів від підстеляючої поверхні).

Імітація різноманітності стану середовища розповсюдження радіохвиль дозволяє змінювати радіогоризонт для РЛС з відносно повільною швидкістю.

У сукупності ці фактори сприяють змінам дальностей виявлення цілей як за азимутом, так і за часом, що понукає операторів працювати здебільше в нестационарних умовах.

Отже, врахування фактору розміщення РЛС на конкретній позиції дозволяє уточнювати форми і параметри ДСА, розраховувати кути закриття, оцінювати радіогоризонт, а також більш адекватно моделювати відбиття зондуючих сигналів від підстеляючої поверхні (місцевих предметів).

При моделюванні ехосигналів можна вважати, що цілі складається з обмеженого числа локальних відбивачів (блискучих точок). Розрахунок характеристик радіолокаційної цілі в цьому випадку зводиться до визначення координат блискучих точок і їх поляризаційних матриць.

Рішення цієї задачі здійснюється з використанням методу простих компонентів. Суть методу зводиться до того, що складна поверхня аеродинамічної цілі апроксимується сукупністю поверхонь відносно простої форми (еліпсоїди, циліндри, конуси, пластини і т.п.). В подальшому визначаються значення електромагнітного поля в точці спостереження, як результат суперпозиції сигналів, відбитих від кожної з цих блискучих точок, з урахуванням інтерференційних явищ [11; 15].

Такий підхід дозволяє значно розширити діапазон змін параметрів ехосигналів. Зокрема, стає можливим моделювати не лише випадкову зміну амплітуди поодинокого імпульсу (в існуючих імітаторах описується законом Релея), а й додатково враховувати швидкі флуктуації амплітуди кожного з імпульсів пачки відбитих сигналів. Це дає змогу імітувати також так званий "координатний" шум, тобто неточності у вимірюванні дальності та кутових координат цілей.

Шум дальності є наслідком випадкових змін центру ваги відбитого сигналу за часом, які викликаються складними явищами інтерференції окремих елементів цілі.

Шум кутових координат (азимута і кута місця) в РЛС РТВ визначається швидкими флуктуаціями амплітуди імпульсів пачки відбитих сигналів, що в більшій мірі є наслідком відбиття зондуючих імпульсів від елементів цілі, які швидко обертаються (наприклад, лопатками повітряних гвинтів, лопатками компресорів і турбін, тощо).

Отже, при імітуванні ехосигналів за допомогою моделі цілі, як набору блискучих точок, можливо враховувати як амплітудний, так і координатний шум повітряних об'єктів.

При моделюванні роботи певного зразка РЛС (5Н84А, П-18, П-37) в різних режимах необхідно враховувати наявність в станції та особливості роботи таких систем та пристроїв: ІКО, СРЦ, різні схеми автоматичного регулювання підсилення (АРП), а також можливість спряження з наземним радіолокаційним запитувачем.

Режимами роботи ІКО є поточний масштаб та яскравість ехосигналу. Варіанти можливих масштабів ІКО визначаються технічними характеристиками РЛС. У програмі бажано передбачити регулювання яскравості ехосигналів.

Зі всіх можливих пристроїв СРЦ доцільно моделювати основний тип, який використовується в аналогових РЛС, – схему черезперіодного віднімання. При цьому слід впевнитись, що продуктивності ПЕОМ вистачить для роботи моделі в реальному масштабі часу.

Моделювання роботи часової АРП здійснюється зміною коефіцієнта підсилення приймача РЛС за експоненціальним законом. В пристрої шумової АРП коефіцієнт підсилення вибирається, виходячи з завадової обстановки.

Таким чином, описані вище принципи моделювання ПЗО дозволяють врахувати відповідні тактичні та технічні вимоги до неї ти в певній мірі наблизити створену модель до реальної.

Реалізувати запропоновану модель ПЗО з урахуванням властивостей позицій РЛС можливо за допомогою сучасних ПЕОМ (див. рис. 1) двома шляхами.

Перший з них полягає у розробці окремих моделей (трас повітряних об'єктів, траєкторної інформації, ехосигналів, завад, тощо) за допомогою будь якої найбільш прийнятної мови програмування з подальшим їх поєднанням у єдину модель ПЗО.

Іншим шляхом є застосування існуючих та вже випробуваних на практиці програм, які задовольняють наведеним вище вимогам.

В статті пропонується другий варіант створення ПЗО, а саме, використання відомої системи оперативного-тактичних розрахунків та імітаційного моделювання бойових дій "Віраж-РД" зі складу комплексу спеціального програмного забезпечення "Віраж", який розроблений в ХНУПС під керівництвом доктора технічних наук професора Лещенка С.П. та прийнятий на озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України [11].

Система "Віраж-РД" має наступні складові:

- "Віраж-РД-СПО" – сервер повітряної, наземної та завадової обстановки;
- "Віраж-РД-РТВ" – програма розіграшу бойового застосування радіотехнічних військ на навчаннях;
- автоматизоване робоче місце (АРМ) РЛС "Radar.exe" – програма моделювання роботи аналогових РЛС.

Програмне забезпечення серверу повітряної, наземної та завадової обстановки "Віраж-РД-СПО" здійснює взаємний обмін поточною інформацією між всіма програмами системи розіграшу та синхронізує їх роботу у реальному масштабі часу.

З робочого місця сервера "Віраж-РД-СПО" вводяться команди на початок та закінчення проведення розіграшу, окремі запроваджувальні, визначається швидкість роботи програми (прискорення часу може бути до 100 разів), тощо.

Програмне забезпечення серверу повітряної обстановки спроможне моделювати політ до 500 цілей, трасові файли яких сформовано заздалегідь (програмою планувальника). Особливістю цих імітованих цілей є неможливість зміни їх траєкторії під час роботи. Зміну трас можна робити тільки завчасно за допомогою програми планувальника.

Програма розіграшу бойового застосування радіотехнічних військ на навчаннях "Віраж-РД-РТВ" забезпечує:

- побудову бойового порядку угруповання радіотехнічних військ шляхом вибору позицій для радіотехнічних підрозділів на електронній карті начальника РТВ та створення файлу угруповання РТВ, який зберігає необхідну для проведення моделювання вихідну інформацію;
- моделювання процесу виявлення повітряних цілей радіолокаційними засобами РТВ з урахуванням прийнятих обмежень, технічних параметрів РЛС, впливу затінюючих властивостей рельєфу міс-

цевості (з використанням цифрової карти), ракурсно-ї залежності ЕПР цілі (поточного ракурсу цілей кожного типу), впливу активних шумових завад;

- введення та редагування кутів закриття для кожної РЛС угруповання з можливістю автоматичного урахування елементів топографічної карти (населені пункти, ліси, терикони, кургани та інше), а також сусідніх РЛС, що розміщені на одній позиції;

- розрахунок та збереження для РЛС РТВ відбиттів від місцевих предметів ("троянди" місцевих предметів), відповідно до точок їх стояння.

Програма "Radar.exe" здійснює моделювання роботи оглядових РЛС (в тому числі й аналогових РЛС типу 5Н84А, П-18, П-37) і функціонує в комп'ютерній мережі при одночасному ввімкненні програм "Віраж-РД-СПО" та "Віраж-РД-РТВ". Слід відмітити, що саме ця програма забезпечує вивід інформації на штатні ІКО РЛС (через пристрій спряження імітатору).

Програма АРМ РЛС "Radar.exe" забезпечує моделювання наступних сигналів:

- ехосигналів повітряних цілей, в яких враховується їх ЕПР в залежності від типу цілі та ракурсу її спостереження;

- сигналів, відбитих від поверхні Землі, в яких враховується рельєф земної поверхні в районі дислокації РЛС та топографічний фон;

- внутрішніх шумів радіоприймального пристрою РЛС;

- активних шумових завад;

- сигналів, відбитих від штучної пасивної завади у вигляді хмар дипольних відбивачів;

- несинхронних імпульсних завад;

- сигналів державного впізнавання.

При розрахунках відбитих радіолокаційних сигналів від повітряних цілей автоматично перевіряються затіняючі властивості рельєфу місцевості. Матриця рельєфу, що використовується в програмі, накриває усю територію України, та деякі ділянки суміжних держав. В системі "Віраж-РД" передбачена можливість вводити кути закриття для кожної РЛС вручну за допомогою програми "Віраж-РД-РТВ". При цьому вони зберігаються в програмі у вигляді таблиць кутів закриття і автоматично враховуються в програмі АРМ РЛС "Radar.exe" при моделюванні роботи кожної з обраних РЛС.

Отже, при використанні системи "Віраж-РД" перша складова імітатора (див. рис. 1) фактично буде складатись з трьох елементів: АРМ планування задуму повітряної обстановки, обчислювача параметрів руху цілей та формувача імітованих сигналів.

Наступним елементом пропонуємого імітатора (див. рис. 1) є пристрій спряження ПЕОМ з РЛС. Для його розробки доцільно використовувати COTS-технології (Commercial Off-The-Shelf) на но-

вій елементній базі, що дозволить значно зменшити вартість та розширити функціональні можливості такого пристрою.

Принцип COTS означає застосування цивільних розробок у системах спеціального призначення, у тому числі військових.

Сучасні апаратні і програмні COTS-технології є тим самим реальним базисом, навколо якого сьогодні і будуються так звані "подвійні" технології, здатні ефективно працювати як у промислових, комунікаційних, стендових, тренажерних системах, так і у військових додатках при використанні єдиного програмного інструментарію.

В якості бази для побудови пристрою спряження використана апаратна обчислювальна платформа Arduino, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки Processing/Wiring на мові програмування, яка є підмножиною мови C/C++ [18].

Вибір платформи Arduino обумовлений наступним.

1. Низька вартість: у порівнянні зі схожими апаратними платформами, плати Arduino мають відносно низьку ціну (готові модулі Arduino коштують не дорожче 20\$).

2. Кроссплатформеність: програмне забезпечення Arduino працює на операційних системах Windows, Macintosh OSX і Linux. При цьому більшість систем схожих платформ орієнтовані на роботу тільки в Windows.

3. Середовище програмування Arduino просте, зручне й зрозуміле, але при цьому і досить гнучке для досвідчених користувачів.

4. Розширюване програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом: досвідчені програмісти можуть змінювати й доповнювати його, наприклад, за допомогою C++ бібліотек.

5. Розширюване відкрите апаратне забезпечення: плати Arduino побудовані на базі мікроконтролерів Atmel, що дозволяє досвідченим фахівцям створювати особисті версії пристроїв на їх основі.

У цілому плати спроектовані таким чином, що їх за необхідності можна розширювати іншими компонентами: плати розширень підключаються до базових плат Arduino за допомогою встановлених на них штирьових роз'ємів. Існує ряд уніфікованих плат, допускає які передбачають конструктивно жорстке з'єднання базової плати та плат розширення в стопку через штирові лінійки.

Базові плати Arduino мають також елементи об'язки для програмування та інтеграції з іншими пристроями.

Основою інтегрованого середовища розробки Arduino є багатоплатформовий додаток на мові програмування Java, який містить у собі редактор коду, компілятор і модуль передачі прошивки до плати.

Програми Arduino розробляються на мові програмування C або C++. Середовище розробки Arduino поставляється разом із бібліотекою програм.

Окремим питанням при розробці пристрою спряження є вибір комутаційних елементів та їх параметрів для забезпечення передачі інформації з ПЕОМ на РЛС і зворотно із заданою повнотою та якістю.

Для цього спочатку буде розглянуто вигляд та обсяг такої інформації, а потім – комутаційні елементи, які будуть задовольняти визначеним вимогам.

Формування ехосигналів може здійснюватись на високій, проміжній або на відеочастоті. З огляду на те, що імітатор призначений лише для відтворення ПЗО на огляду екранах ІКО з метою тренування операторів РЛС, достатньо формувати сигнали на відеочастоті. Це значно спростить імітатор та схему його підключення. Тому в подальшому буде розглядатись саме такий тип сигналів.

Максимальна кількість таких сигналів у одному азимутальному напрямку визначається кількістю дискрет за дальністю N_d . Експериментально перевірено, що тривалість дискрети за дальністю може дорівнювати часу проходження розгорткою на екрані ІКО половини діаметра яскравісної відмітки від променя електронно-променевої трубки (ЕПТ). Наприклад, в РЛС П-37, при величині робочої розгортки від центра до краю екрана ІКО 125...150 мм і діаметрі яскравісної точки 1 мм, мінімальна кількість дискрет за дальністю N_d буде складати 250...300. (Для порівняння, розрахункова кількість дискрет на дистанції огляду, при якій відтворюється спектр сигналу РЛС П-37, дорівнює 1800.)

Кількість азимутальних напрямків N_{az} визначається періодом посилення зондуючих сигналів та швидкістю обертання антени. Для різних типів РЛС значення N_{az} може складати до 5000.

На окремому елементі розрізнення (при конкретних значеннях дальності та азимуту) можуть імітуватись відеосигнали різних типів: сигнали, відбиті від цілей, пасивних завад, підстеляючої поверхні, а також активні завади. Максимальний динамічний діапазон D_{max} цих відеосигналів вибирається рівним 60 дБ.

Для наведених значень N_d , N_{az} та D_{max} може виявитись, що потужності ПЕОМ (зокрема, продуктивність процесора та обсяг пам'яті) буде недостатньо. Тому доцільно розраховувати кожний тип відеосигналів, виходячі з наступних міркувань.

Основний потік відбитих ехосигналів являють сигнали, відбиті від підстильної поверхні. Вид цих сигналів практично не змінюється за часом.

Ехосигнали від аеродинамічних цілей (АДЦ) складають лише невелику частку в загальному потоці сигналів, однак їхні параметри швидко змінюються за часом. З огляду на зазначені особливості,

моделювання сигналів, відбитих від АДЦ і від підстильної поверхні, бажано робити роздільно.

Для цього сигнали, відбиті від підстильної поверхні, повинні розраховуватись лише один раз для заданої позиції РЛС. Ці сигнали зберігаються в пам'яті ПЕОМ. Надалі, значення сигналів зчитуються з пам'яті на кожному оберті антени.

Сигнали АДЦ повинні розраховуватись окремо для кожної з них. При цьому необхідно розрахувати значення сигналів у просторовому об'ємі, який охоплює головну та ближні бічні пелюстки ДСА по кутових координатах та один елемент розрізнення за дальністю.

Формування імітованих імпульсних завад аналогічне формуванню ехосигналів цілей.

При імітації АШЗ зміна їх параметрів повинна відбуватись безперервно за дальністю, за азимуту та в кожному елементі розрізнення, що вимагає додаткових обчислювальних затрат.

Слід додати, що передача описаних вище типів сигналів з ПЕОМ на пристрій спряження імітатору і далі на РЛС повинна здійснюватись узгоджено із синхронізуючими сигналами станції: імпульсами запуску, мітками "Північ", азимутальними мітками, тощо). Вони також потребують врахування при оцінці потужності ПЕОМ.

Окремим питанням при розробці пристрою спряження є вибір типу каналів для обміну інформацією.

Зв'язок між ПЕОМ і пристроєм спряження може здійснюватись через системну шину або зовнішні порти ПЕОМ (послідовні та паралельні).

Зв'язок по системній шині забезпечує максимально можливу швидкість обміну. Однак у цьому випадку виникає необхідність виготовлення пристрою спряження у вигляді плати розширення, яка встановлюється на материнську плату сумісної ПЕОМ. Відомо, що розробка та виготовлення таких плат дуже складна й затратна процедура.

При організації зв'язку через зовнішні порти ПЕОМ швидкості передачі даних будуть менші. Однак при цьому пристрої спряження можуть бути виконані у вигляді автономних пристроїв, які з'єднуються із зовнішніми портами ПЕОМ різними кабелями.

На сьогодні в ПЕОМ використовуються такі зовнішні порти.

1. Паралельний порт (LPT-порт) забезпечує велику, у порівнянні з послідовним, швидкість передачі даних. Однак цей порт має низьку навантажувальну спроможність і передбачає використання кабелю обмеженої довжини (не більше 2...5 метрів) з відносно великою кількістю провідників (не менше одинадцяти). До того ж цей порт вже практично не використовується в сучасних ПЕОМ.

2. Послідовний асинхронний порт (COM-порт) передбачає використання кабелю довжиною до 15 і більш метрів (в них допускається застосування щонайменше тридротового провідника). При роботі під керуванням операційних систем Windows максимальна швидкість роботи послідовного порту може досягати 128000 біт/с.

3. Універсальна послідовна шина USB (Universal Serial Bus) призначена для підключення периферійних пристроїв обчислювальної техніки. Швидкість шини USB 1.0 складає до 12 Мбіт/с, USB 2.0 – до 480 Мбіт/с, USB 3.0 – до 5 Гбіт/с. Максимальна довжина кабелю з'єднання – до 5 м.

4. Ethernet є найпопулярнішим протоколом кабельних комп'ютерних мереж, який працює на фізичному та каналному рівні мережевої моделі OSI. Він має декілька різновидів. Так, наприклад, простий Ethernet функціонує на швидкостях до 10 Мбіт/с, FastEthernet – до 100 Мбіт/с, GigabitEthernet – до 1000 Мбіт/с, 10 GigabitEthernet – до 10 Гбіт/с. На сьогодні відомі розробки наступної версії стандарту 100 GigabitEthernet з досягненням швидкості 100 Гбіт/с. Максимальна довжина кабелю з'єднання каналу Ethernet (у вигляді чотирьох витих пар) може сягати до 100 м.

Для вибору портів, які б забезпечували роботу імітатора, доцільно оцінити потрібну швидкість пе-

редачі даних V в одноканальному імітаторі. Для цього необхідно скористуватись формулою

$$V \left[\frac{\text{біт}}{\text{с}} \right] = \frac{10N_d N_{az}}{T_{огл}},$$

де N_d – число розрахункових елементів за дальністю;

N_{az} – число азимутальних напрямків;

$T_{огл}$ – період огляду простору, с.

В якості прикладу значення V розраховано для РЛС П-37 в режимі 6 об/хв при $N_d = 300$ (це значення було отримане вище) і $N_{az} = 2048$ (визначається кількістю посилювачів зондуєчих сигналів на один оберт антени). Отримане значення V складає 600000 біт/с.

Отже, для зв'язку ПЕОМ, яка працює під керуванням операційної системи Windows, з пристроєм спряження можуть використовуватись лише послідовні порти мереж типу USB та Ethernet.

Виходячи з описаних вище вимог до імітатора, можливостей використання СПЗМ "Віраж-РД", характеристик апаратних обчислювальних платформ Arduino, потрібних параметрів зовнішніх портів ПЕОМ та обсягів обміну інформацією, була розроблена структурна схема імітатора, яка наведена на рис. 2.

Рис. 2. Структурна схема імітатора ПЗО для оглядових аналогових РЛС

Джерело: розроблено авторами.

До її складу входять:

1. АРМ планування задуму повітряної обстановки.
2. Обчислювач параметрів руху цілей.
3. Формувач імітованих сигналів.
4. Мікроконтролер з цифро-аналоговим перетворювачем (ЦАП) та Ethernet-модемом.
5. Вхідний та вихідний буфери.

Перед розглядом роботи схеми доцільно зазначити завдання окремих її елементів та види сигналів між пристроєм спряження й РЛС.

Призначення перших трьох складових схеми (див. рис. 2) очевидне з їх назв.

Мікроконтролер з ЦАП та Ethernet-модемом виконує наступні функції:

- приймання синхросигналів від РЛС та формування поточного коду азимуту розгортки ІКО;
- забезпечення зв'язку з ПЕОМ через порти Ethernet або USB;
- прийом результатів розрахунків, виконаних ПЕОМ;
- формування аналогових сигналів у строго визначені моменти часу, що забезпечується надходженням з РЛС сигналів ЗАПУСК та азимутальних міток;
- формування напруги розгортки для ІКО (за необхідністю).

Вхідний буфер нормує амплітуду синхросигналів до стандартного рівня TTL-логіки.

Вихідний буфер забезпечує формування необхідної амплітуди вихідних сигналів на РЛС: сигналів ЕХО та напруги розгортки ІКО.

Від РЛС на пристрій спряження надходять синхросигнали, кількість та тип яких залежить від зразка РЛС (5Н84А, П-18, П-37). Така різноманітність сигналів обумовлена порядком формування розгортки на екрані ІКО та побудовою синхронно-слідкуючих приводів антен кожного зі зразків РЛС.

Так, з різних РЛС (5Н84А, П-18, П-37) на пристрій спряження повинні надходити такі імпульси (сигнали).

1. З РЛС 5Н84А: імпульси ЗАПУСК і ПІВНІЧ, а також 10-градусні відмітки азимута ОА-10. З останніх двох видів імпульсів (ПІВНІЧ і ОА-10) у пристрої спряження формуються значення коду масштабних азимутальних імпульсів (КОД МАІ) у цифровому вигляді, оскільки в РЛС 5Н84А МАІ не формуються [19].

Можливим варіантом роботи пристрою спряження з РЛС 5Н84А є подача на нього напруг з виходу селсін-датчиків грубого та точного каналів, а також опорної напруги [20]. В цьому випадку в ньому також формуються значення КОД МАІ.

2. З РЛС П-18 на пристрій спряження достатньо подавати лише імпульси ЗАПУСК, що обумовлено наступним. В станції для формування розгортки на екрані ІКО на ЕПТ реалізована нерухома відхиляюча система, на яку мають надходити імпульси пилкоподібної напруги, амплітуда яких промодульована за законом синуса (для горизонтальних відхиляючих котушок) або – косинуса (для вертикальних відхиляючих котушок) синхронно з обертанням антени. Враховуючи те, що в РЛС П-18 немає штатного імітатора обертання антени, формувати такі пилкоподібні імпульси доцільно безпосередньо в імітаторі, як це вже реалізовано в імітаторі для ІКО типу "Пікет" [6].

3. З РЛС П-37 мають надходити лише імпульси ЗАПУСК, МАІ та ПІВНІЧ.

Зворотню з пристрою спряження на усі РЛС обов'язково будуть надходити ехосигнали на відео-частоті. На РЛС П-18 додатково повинні подаватись дві напруги розгортки: на горизонтальні та вертикальні відхиляючі котушки.

Передавати описані сигнали з РЛС на пристрій спряження та зворотно можливо за допомогою звичайних коаксіальних кабелів РК-75.

Отже, порядок роботи схеми (див. рис. 2) коротко можна описати наступним чином.

В ПЕОМ на АРМ планування задуму повітряної обстановки реалізується алгоритм, за яким в подальшому буде здійснюватися тренування осіб бойової обслуги РЛС. Далі з дискретністю 5–10 секунд

розраховуються траєкторні параметри польоту повітряних об'єктів відносно точки стояння кожної РЛС та формуються імітовані сигнали й завади. (Усі розрахунки виконуються за допомогою системи "Віраж-РД".)

З початком імітації польоту пристроєм спряження в реальному часі формуються запити до ПЕОМ на видачу чергового пакету сигналів на заданому азимутальному напрямку згідно моделі ПЗО. Отриманий по каналу Ethernet або USB пакет сигналів поточного азимутальному напрямку зберігається в пам'яті пристрою спряження.

Після приходу з РЛС чергового імпульсу ЗАПУСК цей пакет перетворюється в ЦАП в аналоговий вигляд та через вихідний буфер по коаксіальному кабелю РК-75 передається на РЛС, де отримана інформація відображається на екрані ІКО у вигляді запрограмованої ПЗО.

Практична реалізація схеми імітатора (рис. 2) передбачає вирішення двох основних завдань: вибір ПЕОМ з потрібними параметрами та виготовлення пристрою спряження.

Перше з цих завдань однозначно пов'язане із забезпеченням роботи системи "Віраж-РД". Поточна версія цієї системи на сьогодні вимагає використання ПЕОМ з такими параметрами:

- частота процесора: ≥ 2 ГГц;
- обсяг постійного запам'ятовуючого пристрою: ≥ 512 Гбайт;
- обсяг оперативного запам'ятовуючого пристрою: ≥ 8 Гбайт;
- обсяг відеопам'яті: ≥ 1 Гбайт.

Слід відмітити, що ПЕОМ (ноутбук) із зазначеними можливостями відповідає середній ціновій категорії. Це дозволяє використовувати в імітаторі існуючі в радіотехнічних підрозділах комп'ютери.

При реалізації пристрою спряження в його основу була покладена плата ArduinoDue (рис. 3) [21].

Рис. 3. Зовнішній вигляд плати ArduinoDue
Джерело: [21].

Вибір обумовлений тим, що це єдина плата, в якій є інтегровані ЦАП, які необхідні для формування імітованих аналогових ехосигналів для РЛС.

Для зв'язку модуля процесора плат Arduino з ПЕОМ, зокрема, по мережі Ethernet необхідна додаткова плата розширення. Для цього з комплекту

плат Arduino доцільно використовувати плату ArduinoEthernet [21], зовнішній вигляд якої показаний на рис. 4.

Для обраних плат пристрою спряження (ArduinoDue та ArduinoEthernet) в середовищі програмування Arduino 1.7.8 були розроблені відповідні програми з використанням існуючої бібліотеки програм [18]. Програмування здійснювалось, через порт USB, який інтегрований в базову плату ArduinoDue.

Рис. 4. Зовнішній вигляд плати ArduinoEthernet
Джерело: [21].

Результатом програмування цих плат стало виконання ними функцій, описаних вище для відповідного зразка РЛС:

- формування коду поточного азимутального положення розгортки ІКО;
- формування тактових імпульсів дальності і коду дальності;
- формування імітованих послідовностей аналогових відеосигналів, синхронізованих з імпульсом ЗАПУСК, для відображення ПЗО на екрані ІКО;
- здійснення взаємодії по мережі Ethernet з програмною частиною імітатора, реалізованою на ПЕОМ.

Особливістю реалізації вхідного та вихідного буферів є те, що для їх створення необхідний відповідний модуль, якого немає в комплекті Arduino. Тому даний модуль був розроблений та виготовлений на основі мікросхеми AD8091 та транзисторів типу BC847 у вигляді окремої плати узгодження.

На базі обраних плат Arduino та плати узгодження були реалізовані пристрої спряження для трьох зразків РЛС: 5Н84А, П-18 та П-37.

В якості прикладу на рис. 5 зображений зовнішній вигляд пристрою спряження ПЕОМ з РЛС 5Н84А.

Пристрій виконаний в малогабаритному пластиковому корпусі (160×140×60 мм), всередині якого розміщені: базова плата ArduinoDue, плата Arduino Ethernet та плата узгодження. Основні органи індикації та елементи підключення пристрою виведені на передню і задню панель корпусу (див. рис. 5).

а

б

Рис. 5. Зовнішній вигляд пристрою спряження ПЕОМ з РЛС 5Н84А:

а – лицьова панель; б – тилова панель

Джерело: розроблено авторами.

Отже, розроблений імітатор, який містить ПЕОМ (ноутбук) та пристрій спряження, має невеликі габарити і може бути розміщений як у навчальних приміщеннях, так і всередині кабіни РЛС.

При навчанні бойових обслуг РЛС його можна використовувати у складі тренажно-імітаційного комплексу, який є зручним у застосуванні як для розробників ПЗО, так і для навчаємих (рис. 6).

Рис. 6. Зовнішній вигляд тренажно-імітаційного комплексу для РЛС П-37

Джерело: розроблено авторами.

В якості прикладу на рис. 7 наведений вигляд екрана ІКО РЛС П-37 з імітованою ПЗО, яка створена за допомогою тренажно-імітаційного комплексу.

Зокрема, на екрані імітуються чотири відмітки від цілей, "тройнда місцевих предметів" та несинхронна імпульсна завада.

Таким чином, розроблені імітатори ПЗО для аналогових РЛС типу 5Н84А, П-18 та П-37 задовольняють сучасним вимогам щодо імітації ПЗО на екранах ІКО при підготовці бойових обслуг РЛС. Це дозволяє підвищити якість їх навчання при незначних матеріальних затратах.

Рис. 7. Зовнішній вигляд екрану ІКО РЛС П-37 з імітованою повітряно-завадовою обстановкою
Джерело: розроблено авторами.

Висновки

Для підвищення якості підготовки операторів РЛС РТВ запропоновано імітатор ПЗО на базі ПЕОМ. При такій побудові імітатора в ПЕОМ реалізується задум ПЗО, обчислюються параметри руху

цілей та формуються імітовані сигнали цілей і завад. Усі розрахунки в ПЕОМ проводяться з використанням системи оперативно-тактичних розрахунків та імітаційного моделювання бойових дій "Віраж-РД". Сформовані сигнали надходять на РЛС (типу 5Н84А, П-18, П-37) через відповідний пристрій спряження, який перетворює їх з цифрового вигляду у аналоговий. Такий пристрій виконується на сучасній елементній базі з використанням COTS-технологій, що дозволяє значно здешевити його виготовлення та розширити функціональні можливості. Результатом роботи запропонованого імітатора є формування на екрані ІКО оглядових аналогових РЛС запрограмованої в ПЕОМ ПЗО.

Розроблений імітатор має невеликі масогабаритні показники та вартість, зручний у використанні, та може розміщуватись як у навчальних приміщеннях, так і всередині причепів РЛС. В загальному виді цей імітатор з невеликими доробками може працювати з будь-яким типом аналогових РЛС, що є на озброєнні радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України.

На етапі навчання бойових обслуг РЛС він може використовуватись в якості навчально-тренувального комплексу. Важливою перевагою такого комплексу є спроможність проведення не лише індивідуальної, а й колективної підготовки осіб бойової обслуги на єдиному фоні ПЗО, максимально наближеної до реальної. За результатами навчання можливе також проведення контрольних заходів у реальному масштабі часу із автоматичним оцінюванням результатів перевірки.

Список літератури

1. Оцінювання впливу системи підготовки військовослужбовців у навчальних центрах на стан бойової готовності Збройних Сил України / М.Ф. Пічугін, Д.В. Карлов, А.С. Воловодюк, О.О. Клімішен // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2016. – № 2(47). – С. 226-229.
2. Досвід використання в освітньому процесі університету Simulink-додатків для візуально-імітаційного моделювання алгоритмів перешкодозахисту радіолокаційних станцій радіотехнічних військ / І.М. Невмержицький, Ю.І. Дацків, Д.С. Сидоренко, О.М. Оленін // Системи обробки інформації. – 2019. – № 1(156). – С. 112-117. <https://doi.org/10.30748/soi.2019.156.15>.
3. Шамко Є.В. Розвиток форм і способів застосування Повітряних Сил Збройних Сил України в сучасних умовах ведення збройної боротьби / Є.В. Шамко, О.М. Жарик, В.В. Коваль // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – № 2(31). – С. 9-15. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.01>.
4. Шамко Є.В. Основні особливості застосування Повітряних Сил в сучасних умовах ведення збройної боротьби / Є.В. Шамко, О.М. Жарик, В.В. Коваль // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2(27). – С. 15-18. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.02>.
5. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2(27). – С. 19-25. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>.
6. Имитатор сигналов для индикатора кругового обзора "Пикет" / И.В. Цевух, А.Н. Шейк-Сейкин, А.В. Садченко, О.А. Кушниренко, Ю.А. Савчук // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2017. – № 3. – С. 19-23. <https://doi.org/10.15222/TKEA2017.3.19>.
7. Сеницын А.С. Методическое обоснование разработки тренажера рабочего места оператора радиолокационной станции обнаружения целей на малых высотах, для подготовки солдат мобилизационного ресурса / А.С. Сеницын, В.Л. Никоноров // Молодежный Научно-технический Вестник. – 2015. – № 11. – С. 68-72.
8. Морозов А.К. Оценка параметров имитатора сигнально-помеховой обстановки для радиолокационных станций управления воздушным движением / А.К. Морозов // Математические методы в технике и технологиях. – 2019. – Т. 2. – С. 43-46.

9. Сторчак В. С. Метод формування інформаційного середовища навчання диспетчерів управління повітряним рухом в процесі тренажерної підготовки / В.С. Сторчак, Ю.Г. Ковальов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – № 2(60). – С. 67-74. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.60.09>.
10. Особливості експлуатації радіоелектронної техніки в радіотехнічних військах на етапі переозброєння / В.Й. Климченко, М.Р. Арасланов, В.О. Тютюнник, А.А. Саваткова // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2018. – № 1(55). – С. 83-90. <https://doi.org/10.30748/zhups.2018.55.11>.
11. Створення, впровадження, досвід використання та перспективи розвитку комплексу оперативного-тактичних розрахунків та імітаційного моделювання "Віраж" / С.П. Лещенко, С.І. Бурковський, М.П. Батуринський, Л.В. Польшина, А.А. Адаменко, І.А. Кулініч, Д.Ю. Свистунов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 5(54). – С. 80-84.
12. Обґрунтування необхідності виявлення маневрів цілей "змійка" і "ножиці" на етапі супроводження радіотехнічними засобами / І.Г. Кіріллов, Т.О. Новікова, О.М. Поліський, Т.В. Шевчук, О.С. Яненко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – № 1(59). – С. 46-52. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.59.06>.
13. Гризо А.А. Удосконалення вторинної обробки радіолокаційної інформації в РЛС 19Ж6 / А.А. Гризо, І.М. Невмержицький, В.В. Монастирний // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 1(26). – С. 78-81. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.16>.
14. Проектування візуально-імітаційних додатків для моделювання алгоритмів селекції рухомих цілей існуючих та модернізованих РЛС РТВ за допомогою пакету Simulink / І.М. Невмержицький, А.А. Гризо, М.А. Матвійчук, В.С. Семенов, Е.І. Гуйда // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2(27). – С. 105-109. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.20>.
15. Зниження точності вимірювання частоти пачки радіоімпульсів внаслідок впливу умов її поширення і відбиття / В.Д. Карлов, О.Л. Кузнецов, А.М. Артеменко, А.Д. Карлов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2019. – № 4(56). – С. 130-134. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.4.130>.
16. Корнієнко Л.Г. До визначення поля системи випромінювачів, піднятих над земною поверхнею / Л.Г. Корнієнко // Системи обробки інформації. – 2018. – № 3(154). – С. 33-38. <https://doi.org/10.30748/soi.2018.154.05>.
17. Арасланов М.Р. Динамічна імітаційна модель радіолокаційних відбиттів від місцевих предметів / М.Р. Арасланов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2011. – № 1(27). – С. 62-67.
18. Montironi M.A. Development and application of the ChArduino toolkit for teaching how to program Arduino boards through the C/C++ interpreter Ch / M.A. Montironi // Computer Applications in Engineering Education. – 2017. – No. 2. – Vol. 25. – P. 1053-1065. <https://doi.org/10.1002/cae.21854>.
19. Вибір способу формування цифрового коду азимутального положення антени в оглядових РЛС "старого" парку / О.А. Малишев, М.Р. Арасланов, О.М. Піскун, Є.С. Чекіров // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 1(53). – С. 175-182. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.25>.
20. Вибір способу формування масштабних азимутальних імпульсів в оглядових РЛС "старого" парку при нестабільній швидкості обертання антени / О.А. Малишев, М.Р. Арасланов, Д.В. Орлов, А.В. Ковтун // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2019. – № 3(36). – С. 105-113. <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.36.12>.
21. Офіційний сайт Arduino.CC. Arduino Products. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>.

Надійшла до редколегії 03.09.2020

Схвалена до друку 13.10.2020

Відомості про авторів:

Малишев Олексій Анатолійович

кандидат технічних наук доцент
доцент кафедри Харківського
національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9793-8585>

Арасланов Михайло Рімович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8911-0470>

Белай Сергій Вікторович

доктор наук з державного управління професор
начальник кафедри Національної академії
Національної гвардії України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0841-9522>

Information about the authors:

Oleksii Malyshev

Candidate of Technical Sciences
Associate Professor
Senior Lecturer of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9793-8585>

Mikhail Araslanov

Candidate of Technical Sciences
Senior Research
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8911-0470>

Serhii Bielai

Doctor of Science in Public Administration Professor
Head of Department
of National Academy of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0841-9522>

Сидоров Валентин Владиславович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2987-1347>

Valentin Sidorov

Candidate of Technical Sciences
Senior Research
Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2987-1347>

Бабенко Іван Сергійович

курсант
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0156-2550>

Ivan Babenko

Cadet
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0156-2550>

Астахов Артур Олександрович

курсант
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3111-8031>

Artur Astakhov

Cadet
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3111-8031>

ИМИТАТОР ВОЗДУШНО-ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ "ВИРАЖ-РД" ДЛЯ ОБЗОРНЫХ АНАЛОГОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

А.А. Малышев, М.Р. Арасланов, С.В. Белай, В.В. Сидоров, И.С. Бабенко, А.А. Астахов

Для качественного обучения боевых расчетов радиолокационных станций радиотехнических войск целесообразно использовать имитаторы воздушной помеховой обстановки, которая была бы максимально приближена к реальной. Предложен имитатор, модель налета в котором программируется в персональных электронно-вычислительных машинах, а отражение обстановки осуществляется на индикаторах кругового обзора радиолокационных станций. Для их связи с компьютером разработаны устройства сопряжения, которые осуществляют синхронизацию работы и преобразования цифровой информации в аналоговую с последующей передачей ее на радиолокационную станцию. Для создания воздушной помеховой обстановки используется система оперативно-тактических расчетов и имитационного моделирования боевых действий "Вираж-РД". Устройство сопряжения выполнено с использованием COTS-технологий на базе семейства плат Arduino, что позволяет сделать имитатор недорогим. Разработанный имитатор целесообразно использовать в качестве тренажерно-имитационного комплекса при обучении боевых расчетов радиолокационных станций.

Ключевые слова: обучение, радиолокационная станция, имитатор, воздушная помеховая обстановка, система "Вираж-РД", устройство сопряжения, плата Arduino.

SIMULATOR OF AIR-INTERFERENCE SITUATION WITH THE USE OF THE VIRAGE-RD SYSTEM FOR SURVEILLANCE ANALOG RADAR STATIONS

O. Malyshev, M. Araslanov, S. Bielai, V. Sydorov, I. Babenko, A. Astahov

For high-quality training of combat crews by radar stations of radioengineering troops, it is advisable to use simulators of air-interference situation, which would be as close as possible to the real one. Existing simulators for analog radar stations do not meet modern requirements and today are physically and morally obsolete. It is proposed to create a simulator of an air-interference situation, which is made according to the modular principle: a personal electronic machine - a device for interfacing with a radar station. In the computer an air raid is programmed, types of radar stations and their locations are selected in view of digital maps of the terrain, trajectory parameters of the flight of targets are calculated. Also, echo signals of targets and radio noise are simulated. Echo signals are simulated in view of the brilliant points of the targets, the distance to them and the effective scattering surface. Two types of active interference is formed: continuous and pulsed. Passive interference is simulated in view of the reflection of the probing signals from the relief of the earth's surface. All calculations are carried out using the system of operational-tactical calculations and simulation of military operations "Virage-RD". To connect the computer with radar stations, interface devices, that synchronize the operation and convert digital information into an analog form, have been created. These devices are made using COTS technology based on the Arduino family of boards, which are based on microcontrollers. Arduino boards have ample opportunities for programming, working with various operating systems and low cost. The interface between the device and the computer is via USB and Ethernet channels, and with the radar station, through coaxial cables. The developed simulator is compact, fairly cheap and convenient to use. It is advisable to use it as a training and simulation complex in the preparation of combat service of radar stations.

Keywords: training, radar station, simulator, air-interference situation, Virage-RD system, interface device, Arduino board.