

CHALLENGES IN TELECOMMUNICATIONS" (12th International Scientific Conference), April 16-20, 2018, Kyiv, з назвою «Theoretical research and practical design of IoT tested solution based on ESP8266 SOC and blank components».

6. На розроблений для вирішення IoT програмний код отримано **Свідоцтво про реєстрацію авторського права** на твір: Комп'ютерна програма «Програмний код для IoT-девайсу на базі ESP8266 SoC з використанням трьох датчиків». Заявка № АПС/2478-18 від 20.05.2018. Автори: Уривський Л.О., Осипчук С.О., Чекунов Н.В., Осипчук И.С., Кирашук В.В. Свідоцтво про реєстрацію №79720 від 13.06.2018, видано Міністерством економічного розвитку і торгівлі України.

Література

1. Internet of things – https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things .
2. Beginner's Guide to Understanding the Internet of Things – <https://www.recode.net/2015/1/15/11557782/a-beginners-guide-to-understanding-the-internet-of-things>.
3. Gartner: the world's leading research and advisory company <https://www.gartner.com/en>.
4. IoT-related standards by IEEE – <http://standards.ieee.org/innovate/iot/stds.html>.
5. Gartner: Top 10 IoT Technologies for 2017 and 2018, report – <http://www.gartner.com/document/3188520?ref=solrAll&refval=162721561&qid=679d9fd23e31525ae29692fa25d946ac>.
6. Gartner: The Internet of Things, report – <http://www.gartner.com/technology/research/internet-of-things>.
7. Reference Architecture For The Internet of Things – <https://wso2.com/whitepapers/a-reference-architecture-for-the-internet-of-things>.
8. Cisco, одна из ведущих компаний по сетевым и вычислительным технологиям – <https://www.cisco.com>.
9. Cisco, The Internet of Things Reference Model – http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT_Reference_Model_White_Paper_June_4_2014.pdf.
10. Microsoft Azure and IoT architecture – http://download.microsoft.com/download/A/4/D/A4DAD253-BC21-41D3-B9D9-87D2AE6F0719/Microsoft_Azure_IoT_Reference_Architecture.pdf .
11. Internet of Things (IoT) Use Cases & The Importance of Software Testing – <http://www.cigniti.com/blog/internet-of-things-use-cases-importance-of-software-testing>.
12. Промышленный интернет вещей – <https://www.osp.ru/lan/2016/09/13050308>.
13. В Киеве начали строительство сети для интернета вещей – <http://www.imc.ua>.
14. lifecell и IoT Ukraine начали создание первой сети Интернета вещей в Киеве – <https://hi-tech.ua/lifecell-i-iot-ukraine-nachali-sozdanie-pervoy-seti-interneta-veshhey-v-kieve>.
15. Первая комплексная система умного дома, созданная в Украине – <http://clap.ua>.
16. Конференция IoT Tech Expo 2018 – <https://www.iottechexpo.com/global>.
17. IoT Hardware Guide – <http://www.postscapes.com/internet-of-things-hardware>.
18. IoT Software Development Guide – <http://postscapes2.webhook.org/internet-of-things-software-guide>.
19. IoT Cloud Platform providers – <http://postscapes2.webhook.org/internet-of-things-platforms>.
20. ESP8266 – <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266>.
21. WiFi Плата NodeMCU V2 ESP8266 (CP2102): <https://arduino.ua/prod1495-wifi-plata-nodemcu-v3-esp8266-cp2102>.
22. Документація Blynk: <http://docs.blynk.cc>.
23. Chekunov M., Osypchuk I., Kyrashchuk V., Osypchuk S. Theoretical research and practical design of IoT tested solution based on ESP8266 SOC and blank components / 12th International Scientific Conference "MODERN CHALLENGES IN TELECOMMUNICATIONS", April 16-20, 2018, Kyiv, Ukraine. Conference materials. – P. 466-468.
24. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір: Комп'ютерна програма «Програмний код для IoT-девайсу на базі ESP8266 SoC з використанням трьох датчиків». Заявка № АПС/2478-18 від 20.05.2018. Автори: Уривський Л.О., Осипчук С.О., Чекунов Н.В., Осипчук И.С., Кирашук В.В. Свідоцтво про реєстрацію №79720 від 13.06.2018, видано Міністерством економічного розвитку і торгівлі України.

РАДІОПРИЙМАЧ МОНІТОРИНГУ РАДІОНАВІГАЦІЙНОГО ПОЛЯ ГЛОБАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

Швец В.А.

кандидат технічних наук, доцент

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

RADIO RECEIVER FOR THE MONITORING OF THE RADIONAVIGATION FIELD OF GLOBAL NAVIGATING SATELLITE SYSTEMS

Shvets V.A.

Candidate of Technical Sciences, Associate professor

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ

Безпечна робота транспорту, як об'єкта критичної інфраструктури, на основі сигналів ГНСС залежить від точності визначення координат споживача навігаційної інформації, що залежить від точності оцінки атмосферних параметрів та навколишнього електромагнітного середовища. Тому рекомендується проводити моніторинг доступності радіонавігаційного поля глобальної навігаційної супутникової системи. В роботі пропонується реалізація радіоприймача на основі технології SDR радіо для автономних комплексів моніторингу доступності радіонавігаційного поля глобальної навігаційної супутникової системи. Вимірювання потужності напруженості електричного поля, які отримані за допомогою макета радіоприймача дозволили розробити методику оцінки доступності радіонавігаційного поля ГНСС.

ABSTRACT

The safe operation of transport, as an object of critical infrastructure, on the basis of GNSS signals depends on the accuracy of determining the coordinates of the user of navigation information, which depends on the accuracy of the assessment of atmospheric parameters and the surrounding electromagnetic environment. It is therefore recommended to monitor the availability of radio navigation field of global navigation satellite systems. The work proposes the implementation of a radio receiver based on the technology of SDR radio for autonomous systems for monitoring the availability of the radionavigation field of the global navigation satellite system. Measurement of the power intensity of the electric field, obtained using the radio's layout, allowed to develop a method for assessing the availability of the radionavigation field GNSS.

Ключові слова: радіоприймач, глобальна навігаційна супутникова система, напруженість електричного поля, SDR, Matlab, jamming

Keywords: radio receiver, global navigation satellite system, electric field strength, SDR, Matlab, jamming

Огляд проблеми. Починаючи з 1993 р. глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС) приносила користь цивільній авіації щодо безпеки та ефективності, що призвело експлуатантів повітряних суден, державні регулюючі органи і постачальників АНО до загального визнання видів обслуговування, заснованих на ГНСС. Багато країн почали реорганізацію повітряного простору для підвищення ефективності його використання за допомогою застосування PBN, ADS-B і ADS-C, а також розробили схеми заходів на посадку, що підвищують безпеку польотів і поліпшують доступ до аеропортів. При точному заході на посадку передбачається використання функціональних доповнень до ГНСС SBAS і GBAS [1].

Переваги що забезпечуються GBAS включають:

а) скорочення витрат на наземну інфраструктуру, так як єдина наземна станція GBAS може забезпечити управління при заході на посадку на всі на злітно-посадкові смуги (ЗПС) в аеропорту;

б) скорочення порушень розкладу і пов'язаних з ними витрат завдяки забезпеченню більш низьких мінімумів для посадки на ЗПС;

с) підвищення пропускної спроможності аеропортів;

д) підвищення ефективності шляхом забезпечення процедур PBN в аеродромній зоні, що дозволяє більшій кількості повітряних суден використовувати кращі траєкторії;

е) полегшений доступ до ЗПС, де обмежені можливості розміщення не дозволяють використовувати наземні засоби;

г) збільшення пропускної спроможності близько розташованих паралельних ЗПС за рахунок надання можливості використовувати кілька кутів нахилу глісади і зміщених порогів ЗПС.

Оператори повітряних суден також вимагають підвищення ефективності за допомогою підходів з мінімально можливими мінімумами та значних переваг у сфері безпеки, пов'язаних з вертикальним

керівництвом. Послуги на основі ГНСС можуть досягти цих цілей і вже забезпечили значні переваги безпеки та ефективності для багатьох операторів повітряних суден у всьому світі (в основному США та членів ЄС). Слідуючи цій тенденції, Україна також розпочала впровадження ГНСС в авіації. В роботі [2] розглядаються основні аспекти впровадження навігаційної системи на основі PBN в Україні.

Однак відомо що робота ГНСС піддається впливу навмисних (jamming) і не навмисних завад [3-5].

Безпечна робота транспорту, як об'єкта критичної інфраструктури, на основі сигналів ГНСС залежить від продуктивності навігаційного приймача та точності визначення координат споживача навігаційної інформації, що залежить від точності оцінки атмосферних параметрів та навколишнього електромагнітного середовища [1,6].

Для захисту ГНСС від дії завад нормативні документи рекомендують проводити організаційні та технічні заходи [7-11]. В якості організаційних заходів рекомендовано проводити моніторинг радіонавігаційного поля ГНСС.

Аналіз публікацій. Проведення організаційних заходів по забезпеченню цілісності та доступності інформації ГНСС це вимоги ІКАО та ІМО, які необхідно виконувати [7-11]. Згідно з вимогами та методологією, наведеними в Посібнику з тестування радіонавігаційного обладнання [13,14], необхідно провести моніторинг і випробування ГНСС, щоб підтвердити здатність сигналів ГНСС підтримувати польові процедури згідно з додатком 10 [8]. В роботі [12] розглядається проект SENTINEL і GAARDIAN де надається реалізація моніторингу доступності радіонавігаційного поля ГНСС. Визначаючи завдання моніторингу радіонавігаційного поля, також висувуються і вимоги до комплексів моніторингу радіонавігаційного поля [14,15], а також визначаються деякі параметри, які повинні

бути отримані в результаті моніторингу радіонавігаційного поля [13,14].

Мета. Відповідно до нормативних документів ІКАО розробити мобільний комплекс моніторингу доступності радіонавігаційного поля ГНСС.

Викладення основного матеріалу. В даний час для радіомоніторингу використовуються багатоканальні скануючі приймачі. Вони дозволяють здійснювати постійний автоматичний контроль та пошук радіосигналів в задалегідь заданих частотах. Ефективність і результативність радіомоніторингу залежать не тільки від наявності дорогої апаратури (частотоміри, індикатори поля, аналізатори спектру, широкосмугові антени, смугові фільтри, малошумлячі антенні підсилювачі, високочастотні кабелі з малими втратами), правильного монтажу, але і від методів роботи, кваліфікації та досвіду радіооператорів. Спостереження за радіоефіром – це постійна напружена робота кваліфікованих фахівців по ідентифікації, вимірюванню параметрів радіосигналів, запису, збереження та обробки інформації, одержаної в процесі проведення радіомоніторингу.

Радіомоніторинг здатний вирішити наступні основні задачі по забезпеченню інформаційної безпеки об'єкта:

- виявлення радіозасобів несанкціонованого випромінювання та їх локалізацію (постановників радіозавад);

- контроль дотримання дисципліни зв'язку при використанні співробітниками відкритих каналів радіозв'язку; виявлення побічних випромінювань, що виникають при роботі радіоелектронних засобів;

- контроль за місцезнаходженням і станом транспортних засобів в реальному масштабі часу з використанням супутникових навігаційних систем; накопичення даних радіоелектронної обстановки в зоні розміщення об'єкту.

Для оцінки рівня напруженості електричного поля служать вимірювальні приймачі – радіоприймач з нормованими метрологічними характеристиками вимірювання рівня і частоти радіосигналів. Основне призначення – селективний вимір напруги або потужності слабких сигналів, у багатьох сучасних приймачів є також додаткові функції, наприклад: аналіз спектра сигналу, вимір модуляції, сканування за діапазоном частот з метою виявлення каналів, на яких ведеться передача або для відстеження перешкод. Для визначення параметрів радіовипромінювання в просторі, вимірювальний приймач використовується спільно з вимірювальними антенами.

В даний момент існує досить великий набір вимірювальних приймачів різних виробників:

П5-10 — 8,9 — 9,85 ГГц
 П5-11 — 2,85 — 3,15 ГГц,
 П5-13 — 12 — 16,6 ГГц,
 П5-15А — 25,8 — 37,5 ГГц,
 П5-20 — 500 — 1000 МГц,
 П5-34 — 8,24 — 12,05 ГГц,
 П5-42 — 9 кГц — 1000 МГц,
 UCR 3000 М — 9 кГц — 3 ГГц,
 Narda STS ® PMM 9010Fast (10ГГц- 18ГГц),
 Rohde&Schwarz® ESW8 / 26 / 44 (2 Гц - 8 /26,5 / 44 ГГц) ,
 Rohde&Schwarz® ESR3 / 7 / 26 (10 Гц - 3,6/7/26,5 ГГц),
 Rohde&Schwarz® ESRP3 / 7 (10 Гц - 3,6 / 7 ГГц),
 Rohde&Schwarz® ESU8 / 26 / 40 (20 Гц - 8/26,5/40 ГГц),
 Rohde&Schwarz® ESL3 / 6 (9 кГц - 3/6 ГГц),
 Rohde&Schwarz® EB200 (10 кГц - 3 ГГц),
 FCLE 1535 — 9 кГц ... 3,25 ГГц,
 РИАП 1.8 — 9 кГц ... 1800 МГц,
 Willtek 8100 GPR — 100 кГц ... 2,5 ГГц.

Однак при всіх їх перевагах ці приймачі призначені для стаціонарних вимірювальних лабораторій, мають досить високу ціну (десятки тисяч доларів), мають значну вагу від 15 кг до 27 кг, тобто оперативне або тактичне використання такого приймача в польових умовах неможливо як того вимагають документи ІКАО [1,8,13-17].

Тому актуальною технічною задачею є розробка тактичного малогабаритного, дешевого (до 300 \$) вимірювального приймача для оцінки рівня напруженості електричного поля в діапазоні частот ГНСС для комплексу радіомоніторингу радіонавігаційного поля ГНСС.

З аналізу стану сучасного радіоприймання і обробки інформації був зроблений вибір на користь технології SDR-radio.

Software Defined Radio (SDR) — загальний термін, який відноситься до систем радіозв'язку, в яких майже всі функціональні можливості, пов'язані з фізичним рівнем, реалізовані в програмному забезпеченні за допомогою алгоритмів цифрової обробки сигналів (ЦОС). Ідеальний SDR приймач має дуже мало фізичного обладнання: тільки антена, яка здатна захоплювати і оцифровувати широку смугу радіочастот. Будь-яка демодуляція, синхронізація, декодування, дешифрування або відновлення інформації, що міститься в прийнятому сигналі виконується на спеціалізованому пристрої обробки. RTL-SDR — це недорогий (приблизно \$10 – \$200), легкий у використанні USB пристрій який може приймати радіочастотні сигнали [18–20].

В даний час на ринку присутні де кілька моделей SDR-приймачів з наступними характеристиками (табл. 1).

Характеристики широкосмугових SDR-приймачів

SDR-приймач	Діапазон частот (MHz)		Пропускна здатність (MHz)	Розрядність АЦП (біт)	Режим передачі (так/ні)	Ціна за одиницю (\$USD)
	мін.	макс.				
RTL-SDR (R820T)	24	1766	3.2	8	ні	~10
Funcube Pro+	0.15 410	260 2050	0.192	16	ні	~200
Airspy	24	1800	10	12	ні	199
SDRPlay	0.1	2000	8	12	ні	149
HackRF	30	6000	20	8	так	299
BladeRF	300	3800	40	12	так	400 & 650
USRP 1	DC	6000	64	12	так	700

На підставі аналізу характеристик зупинимося на приймачі R820T: робочий діапазон охоплює частоти ГНСС, смуга пропускання захоплює ширину спектра сигналів цивільного діапазону ГНСС, низька вартість і наявність великої кількості програмного забезпечення [18–21].

На початку 2014 року MathWorks випустила пакет підтримки обладнання для RTL-SDR, що дозволило MATLAB і Simulink взаємодіяти з RTL-SDR. За допомогою цього доповнення, сигнал з виходу пристрою може бути захоплений і перенесений в програмне середовище, що дозволяє користувачам створити будь-який приймач або аналізатор спектра на основі моделі Simulink або MATLAB коду [22].

У RTL-SDR приймачі радіосигнал приймається антеною, проводиться квадратурне перетворення за допомогою RTL-SDR, після цього синфазна і квадратурна складові надсилаються в

MATLAB, запущений на комп'ютері. Конструкція приймача реалізована з використанням відповідних алгоритмів цифрової обробки сигналів для демодуляції та виділення корисного сигналу. Це можуть бути аудіо, відео, зображення або дані. На рис. 1 показана блок-схема основних етапів обробки сигналів, які виконуються на RTL-SDR [20].

РЧ-сигнали, що надходять в тюнер понижуються до низької ПЧ, використовуючи генератор керований напругою (ГКН). ГКН програмується і управляється RTL2832U через інтерфейс Integrated Circuit (I²C). Після стадії активного регулювання підсилення (АПП), яка динамічне регулює амплітуду вхідного сигналу відповідно до робочого діапазону пристрою, сигнал ПЧ зміщений аж до смуги відеочастот.

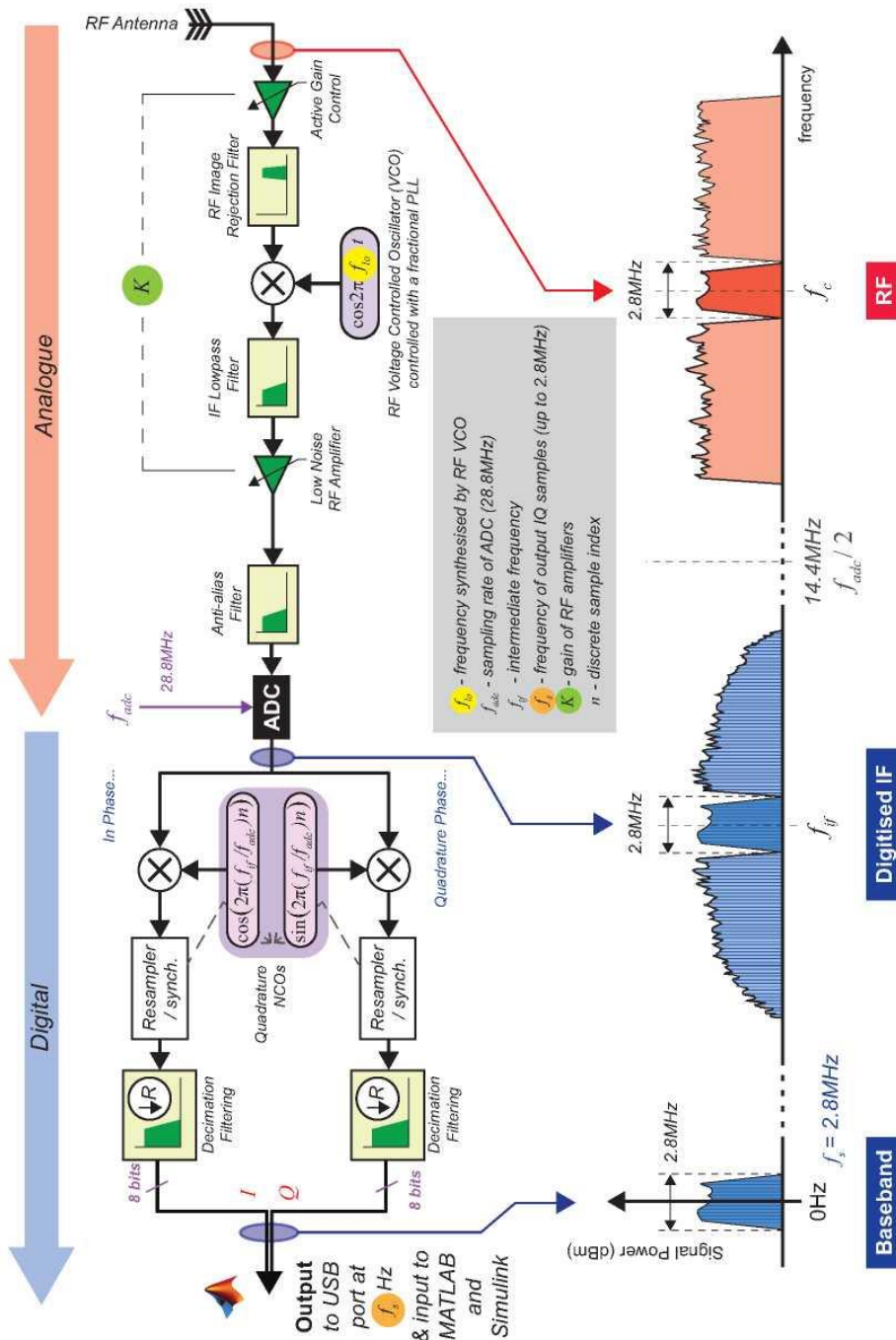


Рис. 1. Процес, виконаний RTL-SDR R820T / RTL2832U: перетворення сигналу РЧ в ПЧ, перетворення частоти в базову полосу. (Примітка щодо порівняння з рис. 4.8, ця блок-схема працює справа наліво, а не зліва направо). Параметри частот дискретизації основної частоти, f_s , настроєного підсилення, K і центральної частоти радіочастот f_c встановлюються в блоці приймача Simulink RTL-SDR або в системному об'єкті MATLAB comm.SDRRTLReceiver

Класичний метод виконання цього полягає в передачі сигналу ПЧ через фільтр що згладжує, а потім знижує його в смугу відео частот за допомогою квадратурних з числовим програмним управлінням осциляторів.

Вимірювальний радіоприймач повинен виконувати функцію: вимірювання потужності сигналу на заданій частоті або діапазону частот в точці спостереження, за рівнем не гірше -140 дБВт [1,23].

В якості радіомодуля пропонується використувати RTL-SDR RTL2832U приймач (рис. 2), який виконує функції показані на рис. 1 з наступними характеристиками:

- чутливість – 0,22 мкВ;
- діапазон частот – $27 \div 1800$ МГц;
- коефіцієнт підсилювання РЧ сигналу $0 \div 49,2$ дБ;
- частота дискретизації АЦП $200 \div 3200$ кГц.



Рис. 2. Комплект RTL-SDR приймача

Структурна схема приймача вимірювання потужності сигналу наведена на рис. 3.

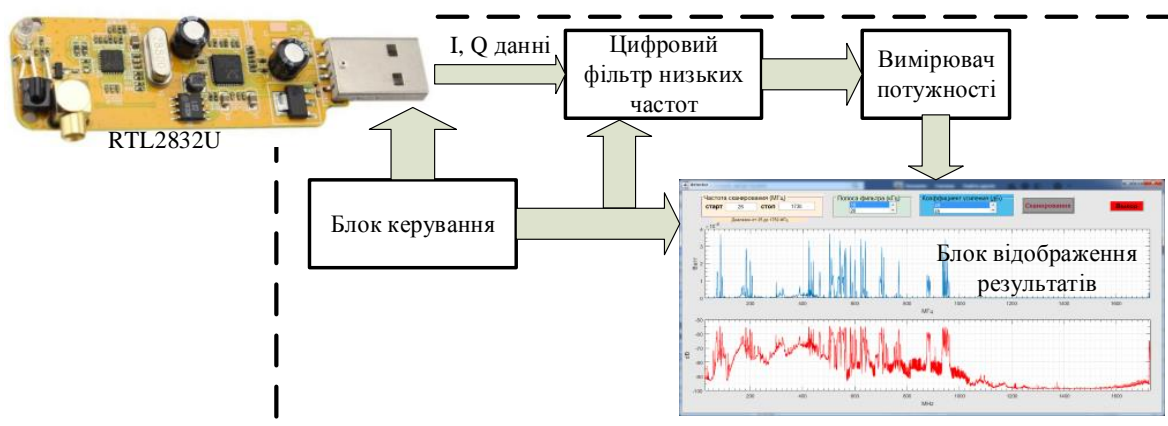


Рис. 3. Структурна схема приймача вимірювання потужності сигналу

Для роботи приймача RTL2832U йому потрібно отримати наступні параметри:

- частоту сигналу, який треба прийняти;
- частоту дискретизації для АЦП;
- коефіцієнт підсилення;
- обсяг накопичувального буферу;
- початкову і кінцеву частоту сканування;
- крок сканування.

Ці параметри надходять з блоку керування.

За вимогами, потужність сигналу повинна вимірюватися на частоті сигналу, проте приймач має визначену смугу пропускання, яка залежить від частоти дискретизації ($f_s = 200 \text{ кГц} \div 3.2 \text{ МГц}$), тобто смуга пропускання приймача може бути в межах $\Delta f = \pm 100 \text{ кГц} \div \pm 1,6 \text{ МГц}$, тому сигнал необхідно обмежити по частоті, що можна реалізувати фільтром низьких частот з малою смугою пропускання. Виходячи з технічних характеристик скануючих приймачів мінімальний крок сканування складає 10 кГц , на підставі цього можемо вибрати смугу пропускання цифрового фільтра 10 кГц або менше, тим самим підвищимо роздільну здатність по частоті [14].

Блок керування для цифрового фільтра низьких частот надає частоту дискретизації, смугу пропускання фільтра.

Вимірювач потужності прийнятого сигналу працює за наступним принципом: прийнятий сигнал можна вважати випадковим на деякій часовій ділянці, а як відомо потужність випадкового процесу відображається його дисперсією [24]. В такому випадку вимірювач потужності буде обчислювати дисперсію прийнятого сигналу на певній частоті з заданою смугою.

Блок відображення результатів: відображає результати вимірювання потужності сигналу на прийнятій частоті в вигляді графіка "потужність-частота". Через інтерфейс блоку задаються всі необхідні параметри для роботи приймача.

Блоки що знаходяться всередині штриховий області будуть реалізовуватися програмним способом і в якості інструменту буде використаний пакет Matlab (рис. 3).

Для створення приймача необхідно виконати наступні кроки:

- створити інтерфейс приймача;
- створити програму керування приймачем і вимірювання потужності.

Інтерфейс приймача створюється в стандартному додатку Matlab для розробки графічного інтерфейсу користувача GUIDE [25]. На головній панелі (рис. 4) розміщуються об'єкти: п'ять діалогових вікон для введення діапазону сканування,

смуги пропускання фільтра низьких частот (забезпечує дозвіл сканування за частотою), коефіцієнт підсилення приймача, коефіцієнту підсилення антени, опору антени. Дві кнопки "Сканування" і "Вихід". Два графічних об'єкта для виведення результатів.

Для керування приймачем попередньо повинна бути встановлена бібліотека функцій для RTL-SDR радіо [18-22], необхідно задати в параметри: частоту початку і кінця діапазону сканування, ідентифікатор приймача, частоту дискретизації, коефіцієнт підсилення, кількість даних в фреймі, тип даних і коригувальну частоту для гетеродину.

```
% read_data(handles);
start_freq =
str2double(get(handles.edit1,'String'))*1e6;
stop_freq =
str2double(get(handles.edit2,'String'))*1e6;
rtlsdr_id = '0'; % RTL-SDR ідентифікатор или
адрес
rtlsdr_fs = 2.8e6; % RTL-SDR частота дискретизації Hz
```

```
% rtlsdr_gain = 40; % RTL-SDR tuner gain in dB
rtlsdr_frmrlen = 4096; % RTL-SDR output data
frame size
rtlsdr_datatype = 'double'; % RTL-SDR output
data type
rtlsdr_ppm = 0; % RTL-SDR tuner parts per
million correction
```

Створити програмний об'єкт приймач з певним ім'ям:

```
% создаем объект RTL-SDR приемника
hSDR = comm.SDRRTLReceiver(...
rtlsdr_id,...
'CenterFrequency', start_freq,...
'EnableTunerAGC', false,...
'TunerGain', rtlsdr_gain,...
'SampleRate', rtlsdr_fs, ...
'SamplesPerFrame', rtlsdr_frmrlen,...
'OutputDataType', rtlsdr_datatype ,...
'FrequencyCorrection', rtlsdr_ppm );
```

На рис. 4. представлено результат роботи вимірювального приймача.

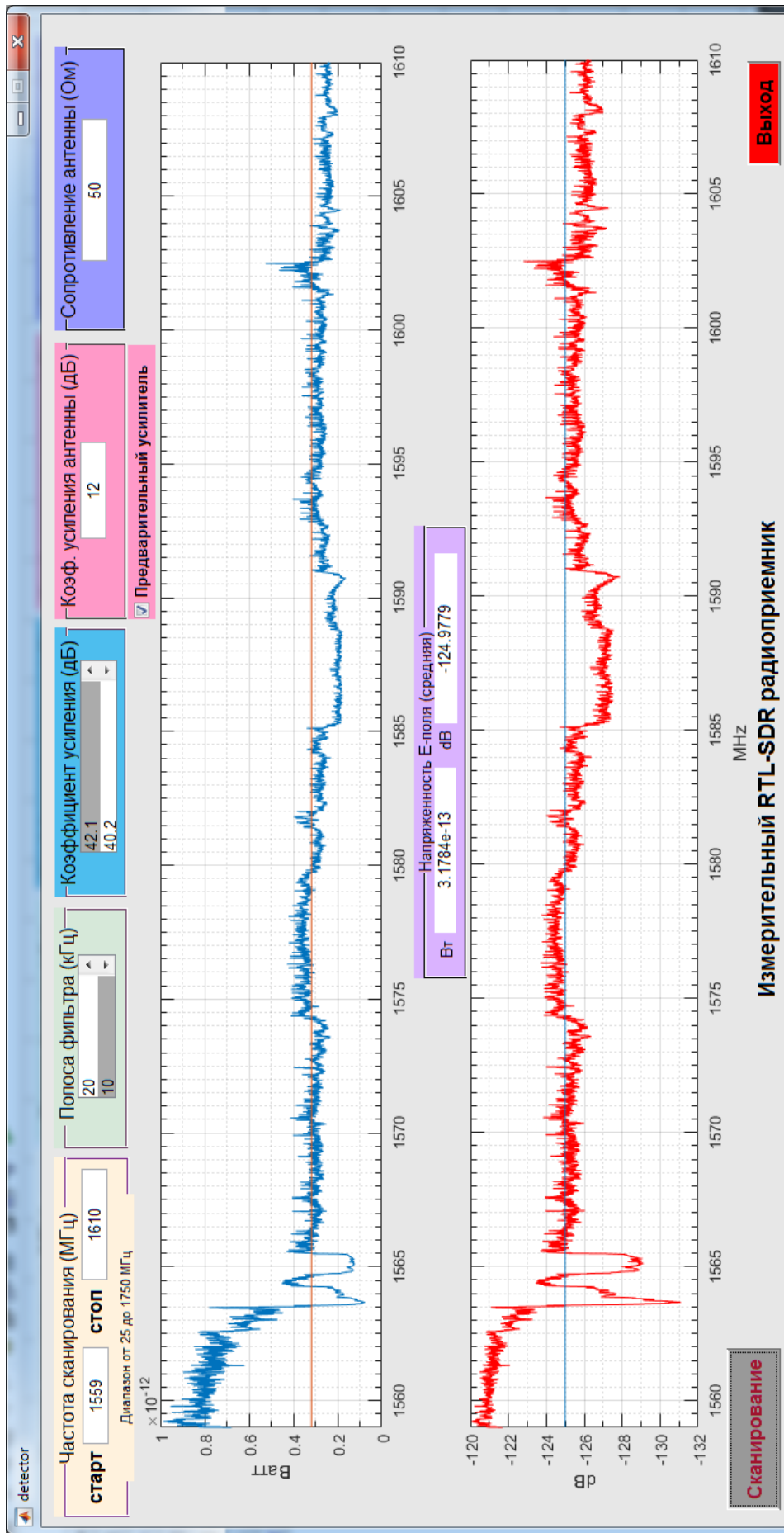


Рис. 4 Результат работы виброявольного приемача в діапазоні GPS L1

Антенна приймача повинна приймати сигнали в діапазоні L1 GPS і проєктується за методикою наведеною в [26]. Конструкція та діаграма спрямованості антени наведені на рис. 5 та рис.6. На рис. 7

представлено макет приймача для комплексу моніторингу доступності радіонавігаційного поля ГНСС.

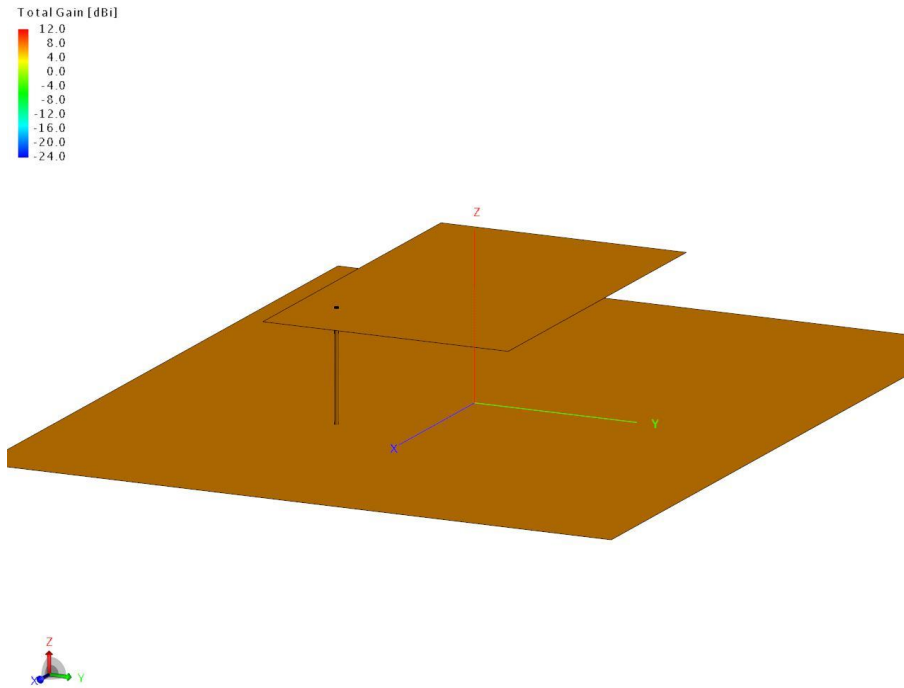


Рис. 5. Конструкція антени вимірювального приймача

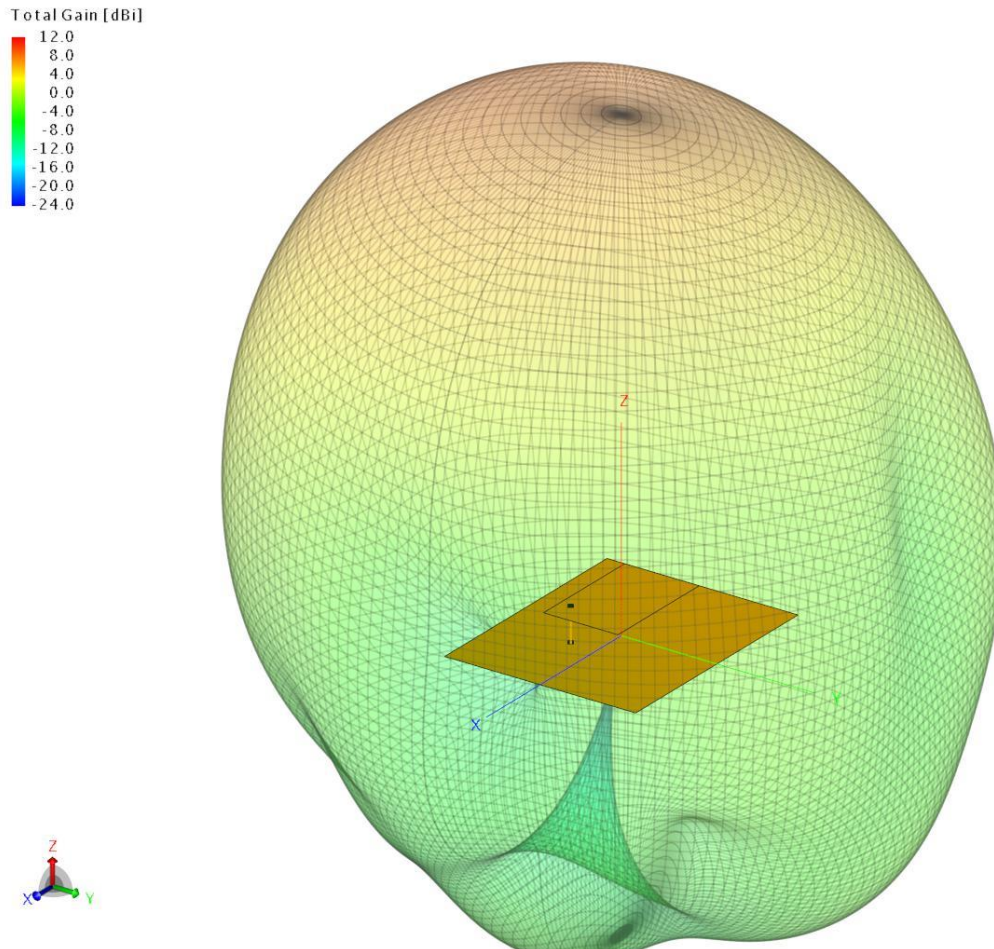


Рис. 6. Діаграма спрямованості антени вимірювального приймача

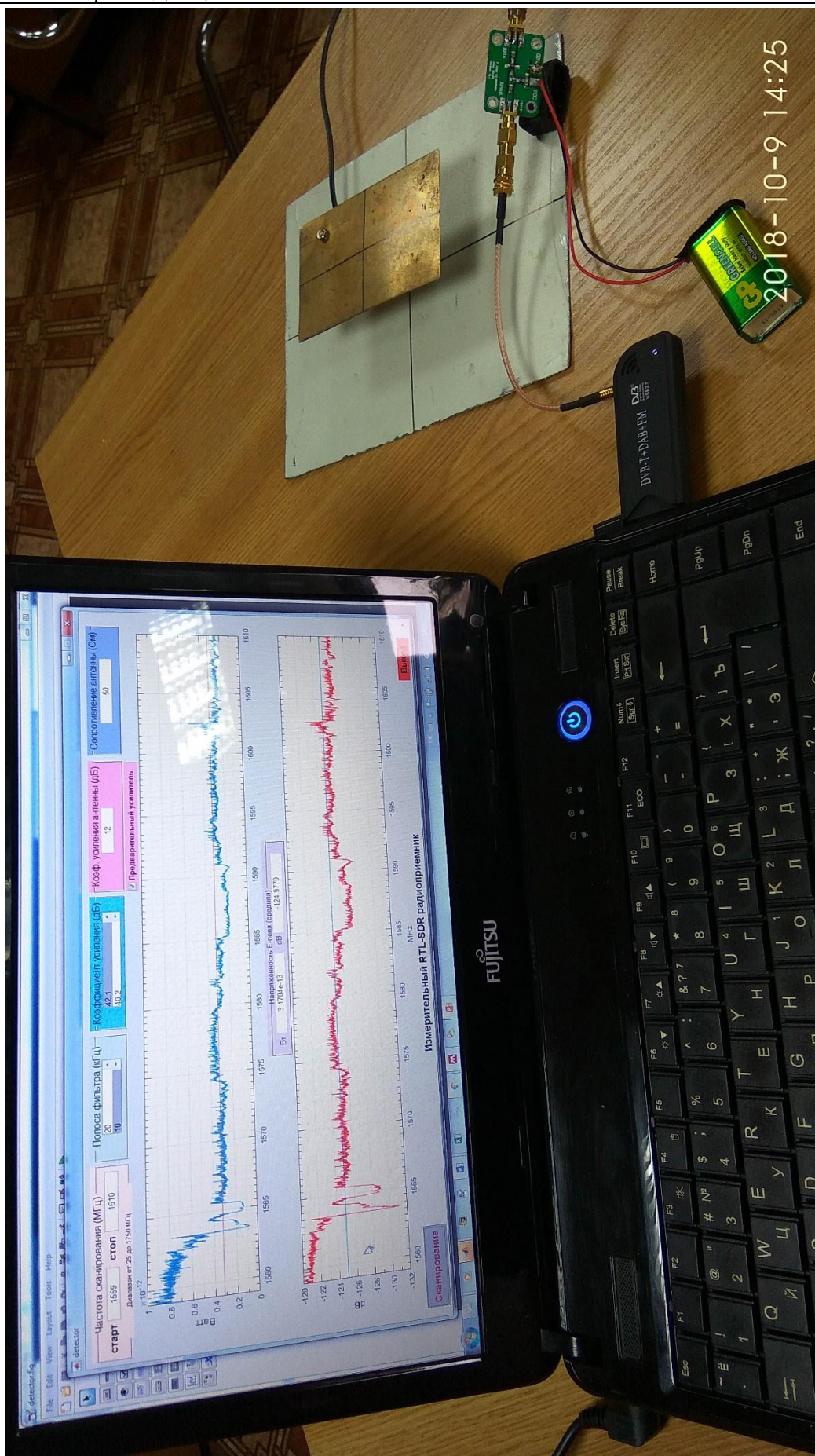


Рис. 7. Макет вибрывального приёмача потужности електричного поля

Вимірювальний приймач розроблено в процесі виконання науково-дослідної роботи Національного авіаційного університету «Система моніторингу доступності радіонавігаційного поля при заходах на посадку літальних апаратів за сигналами GNSS».

Вимірювання потужності напруженості електричного поля, які отримані за допомогою макета радіоприймача дозволили розробити методику оцінки доступності радіонавігаційного поля ГНСС [6,27,28].

В якості подальших робіт реалізації автономності комплексу моніторингу доступності радіонавігаційного поля RTL-SDR-приймач буде підключений до міні-ЕОМ Raspberry Pi або Pine 64A з модулем зв'язку каналами GSM.

Висновки. В роботі розглянута проблема радіомоніторингу доступності радіонавігаційного поля ГНСС. Для вирішення проблеми на основі технології SDR радіо розроблено вимірювальний приймач для автономних комплексів радіомоніторингу доступності радіонавігаційного поля ГНСС. Вимірювання потужності напруженості електричного поля, які отримані за допомогою макета радіоприймача дозволили розробити методику оцінки доступності радіонавігаційного поля ГНСС.

Література

1. Конин В., Харченко В. Системы спутниковой радионавигации / В. Конин, В. Харченко, Киев: ХОЛТЕХ, 2010. – 521 с.
2. Ilytska S., Kondratiuk V. Regulatory and legal aspects analysis of PBN implementation in Ukraine Kyiv: NAU, 2017. 12.1-12.10 pp.
3. Corrigan T.M. and etc. GPS Risk Assessment Study. Final report. Washington, 1999.
4. Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System. Final report. Washington, 2001.
5. RTCA Inc. Assessment of Radio Frequency Interference Relevant to the GNSS L1 Frequency Band / RTCA Inc., Washington: RTCA, Inc., 2008. 464 p.
6. Shvets V. A. Information threats to the global navigation satellite system and how to eliminate them / V. A. Shvets // Sciences of Europe, Vol. 1, №35 (2019). – Praha, Czech Republic: Sciences of Europe, 2019. pp. 61 – 73.
7. Циркуляр 267-AN/159 Рекомендации по внедрению и эксплуатационному использованию глобальной спутниковой навигационной системы (GNSS) М.: ИКАО, 1996. – 114 с.
8. Авиационная электросвязь. Том 1 Радионавигационные средства М.: ИКАО, 2006. – 598 с.
9. Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN) М.: ИКАО, 2013. – 444 с.
10. Руководство по глобальной навигационной спутниковой системе (GNSS). Doc 9849 М.: ИКАО, 2013. – 100 с.
11. IMO Resolution A915. Revised maritime policy and requirements for a future global navigation satellite system (GNSS). London, UK: IMO, 2002. 22p.
12. Curry C. Sentinel Project Report on GNSS Vulnerabilities. Lydbrook, 2011.
13. Manual on Testing of Radio Navigation Aids. Montreal: ICAO, 2000. 188 p.
14. Manual on Testing of Radio Navigation Aids. Montreal: ICAO, 2007. 73 p.
15. Справочник по управлению использованием спектра на национальном уровне. Женева: ITU, 2005. – 340 с.
16. Руководство по требуемым радионавигационным характеристикам (RNP) М.: ИКАО, 1999. – 68 с.
17. ICAO 2016 – 2030 Global Air Navigation Plan. Montreal: ICAO, 2016. 142 p.
18. Laufer C. The Hobbyist's Guide to the RTL-SDR / C. Laufer, Kindle edition, 2014. 286 с.
19. Clark D., Clark P. Field Expedient SDR: Introduction to Software Defined Radio / D. Clark, P. Clark, Meadow Registry Press, 2015. 173 с.
20. Stewart R. [и др.]. Software Defined Radio using MATLAB® & Simulink® and the RTL-SDR / R. Stewart, K. Barlee, D. Atkinson, L. Crockett, Glasgow: Strathclyde Academic Media, 2015. 674 с.
21. RTL-SDR.COM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rtl-sdr.com/> (дата звернення: 20.02.2019).
22. MathWorks RTL-SDR Support from Communications Toolbox - Hardware Support - MATLAB & Simulink [Электронный ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/hardware-support/rtl-sdr.html?s_tid=srchtitle (дата звернення: 20.02.2019).
23. Дятлов, А. П., Дятлов, П. А., Кульбикаян, Б. Х. Радиозлектронная борьба со спутниковыми радионавигационными системами / П. Дятлов, А., А. Дятлов, П., Х. Кульбикаян, Б., М.: Радио и связь, 2004. – 226 с.
24. Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.
25. MatWorks MATLAB Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/> (дата звернення: 21.01.2019).
26. Воскресенский Д. И. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток / В. С. Филиппов, Л. И. Пономарев, А. Ю. Гринев и др. М.: Радио и связь, 1994. – 592 с.
27. Shvets V. A. Method of evaluation of the electric field level of dangerous signals to gnss receivers / V. A. Shvets, V. P. Kharchenko // Proceedings of the National Aviation University, N 2 (75), 2018. pp. 7–12.
28. Shvets V., Kondratiuk V., Ilytska S., Kutsenko O. Radionavigation field monitoring in the landing area using software-defined radio receiver // Aviation in the XXI-st century 2018: World Congress. (National Aviation University, October 10 – 12, 2018). Kyiv: Publisher NAU, 2018. P 5.1.21 – 5.1.26