

УДК 621.382

СУЧАСНІ ОСОБЛИВОСТІ МОНІТОРИНГУ УМОВ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

Старнавський І. І., Швайченко В. Б.

Київський національний університет технологій і дизайну

Мета. Розробка цифрової електронної системи моніторингу умов проходження радіохвиль та запису атмосферних умов їх проходження для подальшої обробки.

Методика. Математичне та комп'ютерне моделювання, системний аналіз, збір статистики.

Результати. Доведено, що окрім збору даних, доцільно організувати можливість зберігати дані за запитом у хмарному сховищі. В епоху мобільних пристроїв застосування мобільних терміналів та смартфонів надає додаткові можливості для визначення стану атмосфери в реальному часі.

Для розв'язання задачі збору, зберігання та оброблення даних розроблено дослідний зразок на МК Atmel328.

Наукова новизна. В роботі знайшов подальший розвиток метод визначення умов поширення радіохвиль на основі застосування сучасної SDR-технології. Змодельована та реалізована електронна система збору даних, що надає можливість проводити дослідження умов поширення радіохвиль.

Практична значимість. В роботі розроблена електронна система збору даних що надає можливість проводити дослідження умов поширення радіохвиль. Отримані результати мають потенціал для використання в розробці систем моніторингу умов поширення радіохвиль. Фізична реалізація отриманих рішень може бути використана в навчальних цілях.

Ключові слова: атмосфера, збір статистики, іоносфера, моделювання атмосферних процесів, моніторинг, проходження радіохвиль, тропосфера

Моніторинг стану іоносфери є важливою стратегічною і науковою задачею сучасності, проте більшість засобів його здійснення виявляються дорогими і малоефективними. Метод відбиття [1], суть якого полягає в оцінці різниці частот несучої віддаленої станції і опорного генератора, хоч і не дозволяє обчислити абсолютну висоту шару іоносфери і електронну концентрацію, на відміну від методу вертикального зондування, але, тим не менше, дає можливість стежити за процесами, що відбуваються в шарі іоносфери, що забезпечує відбиття – реєструвати флуктуації шару, метеорні сліди, «відкриття» і «закриття» діапазону на даній трасі і інші особливості.

Цим методом можна отримувати загальну картину стану іоносфери навколо однієї точки знаходження приймача, але для отримання більш точних результатів доцільно використання декількох рознесених приймачів, збір даних по мережі і їх централізовану обробку. Завдання можна реалізувати різними шляхами, в тому числі

використовуючи наявні технології для нетипових задач. В даний час все більшого поширення отримує SDR (Software-Defined Radio – програмно визначаєма радіосистема) [2], в якій більшість функцій радіоприймача, як то: посилення, фільтрацію і демодуляцію, виконує комп'ютер. SDR – це радіотелекомунікаційна система, яка може бути налаштована на довільну смугу частот і приймати різні види модульованого сигналу, що складається з програмованого обладнання з програмним управлінням. Основними перевагами SDR є можливість оперативного вибору параметрів і широкий спектр прийнятих сигналів. Оскільки для прийому, оцифрування та обробки використовується всього один кварцевий генератор, як правило, з досить високою стабільністю частоти (до 10^{-8}), усуваються спотворення сигналу, викликані температурним дрейфом гетеродина по частоті, що часто спостерігається в звичайних приймачах при роботі в режимі CW/SSB. Тому актуальною є науково-технічна задача моніторингу в реальному часі, пов'язана з додатковими можливостями залучення значної кількості активних радіозасобів. Радіоаматори постійно вручну моніторять радіоефір за допомогою своїх приймачів з метою проведення зв'язку з дальніми станціями. Якщо переглянути статистику по факту проведених радіозв'язків, то можливо виявити дальнє проходження радіохвиль. Останнім часом широкого поширення зазнала програма моніторингу – «PSK Automatic Propagation Reporter» (Автоматичний моніторинг прийому (проходження) PSK сигналів). Ця являє собою систему прийому (моніторингу) PSK сигналів в ефірі, з подальшою трансляцією отриманих даних про зв'язок, на сервер <http://pskreporter.info/pskmap.html> через інтернет [3]. Цей проект розпочався зі збору (моніторингу) прийому сигналів PSK, і далі вилився в надання даних про прийом, в режимі реального часу. Ініціаторами прийому сигналів є радіоаматори, які встановлюють такий віддалений зв'язок. Таким чином, щоб система працювала, значна кількість радіоаматорів має відслідковувати сигнали один одного в ефірі, в режимі реального часу і транслювати отримані дані в систему.

Особливості застосування системи полягає в тому, щоб визначати, як приймається їх сигнал в різних куточках земної кулі, для цього радіоаматору досить передати сигнал CQ і через невеликий відрізок часу, визначити, в якому куточку земної кулі було прийнято цей сигнал. Така система може виявитися корисною для відстеження проходження радіохвиль на різних діапазонах, а також для перевірки і налаштування антенних систем, або радіоапаратури. В системі також передбачено архів і статистику прийнятих сигналів. Прийняті сигнали відображаються на Kartі світу,

<http://pskreporter.info/pskmap.html> [3]. Також є сторінка зі статистикою прийнятих сигналів, <http://pskreporter.info/cgi-bin/pskstats.pl> [4]. Кожен бажаючий може взяти участь у розвитку проекту, причому це може бути не обов'язково радіоаматор, який має позивний (в тому числі і SWL), а будь-яка людина, що має можливість встановити програмне забезпечення на свою приймальну апаратуру і транслювати отриману інформацію в інтренет.

Моніторинг PSK (клієнт) тепер інтегрований в поточну версію програми Digital Master 780 (частина програми Deluxe) [5]. Таким чином, моніторинг стає простою опцією в цій програмі. Як правило, протягом дня на діапазонах з'являється погнад 100 моніторингових станцій, в основному в Північній Америці і Європі, а це означає, що будь-який радіоаматор має вагому гарантію бути почутим. Програма fldigi 3.1 (для створення цифрових мультиплатформових режимів) має вбудовану підтримку реєстрації даних на веб-сайті pskreporter. Ця програма популярна на Linux системах, а так як вона є мультиплатформенною, то вона не може використовувати БД DLL, для реєстрації повідомлень. Доступна версія специфікації Windows API, яка може бути використана для передачі отриманих даних. Існує PSK Reporter SDK, який можна завантажити. Він включає в себе документацію, DLL, файл заголовка тощо. Це застосування значно простіше, ніж створення протоколу безпосередньо. Оболонка Delphi дозволяє легко викликати програму з додатків Delphi – завдяки розробкам WD5EAE. Доступний повний опис протоколу, використовуваного для представлення інформації, а також інформація про тестовий сервер для перевірки. Діють також веб-служби, які інформують про найкращі частоти для зв'язку в даний момент часу. Для визначення оптимальних частот, можна скористатися адресою: <http://pskreporter.info/cgi-bin/psk-freq.pl> [6] Дана сторінка має інформацію, що вказує на кращі частоти для певної країни (на основі geolocating IP-адреси). Сервіс дозволяє радіоаматорам визначити, в яких куточках земної кулі (де є радіоаматорські станції, підключені до сервісу) приймають сигнал даної радіостанції, а отже, оцінити проходження радіохвиль в даний момент часу. Але це не все. Оскільки на карті відображають реально працюючі радіостанції, можна дізнатися, які DX станції, та й просто звичайні радіостанції, активні в даний момент часу, з ким вони проводять зв'язок. Як проходження радіохвиль (і на яких діапазонах) залежить від руху якогось об'єкту по земній поверхні (просто неоціненні наочні дані для початківців і не тільки, радіоаматорів). Природно, що тільки з розвитком інтернет технологій і розвитком

програмного забезпечення PSK така технологія стала можливою в автоматичному режимі.

Тут придатна опція «Show transmitter distance chart» (тобто показати характеристики дистанцій зв'язку (передачі). Якщо викликати цю опцію (натиснути на напис мишкою), з'явиться ще одне вікно, з характеристиками (дистанцією) каналів зв'язку для даної станції, див. рис. 1.

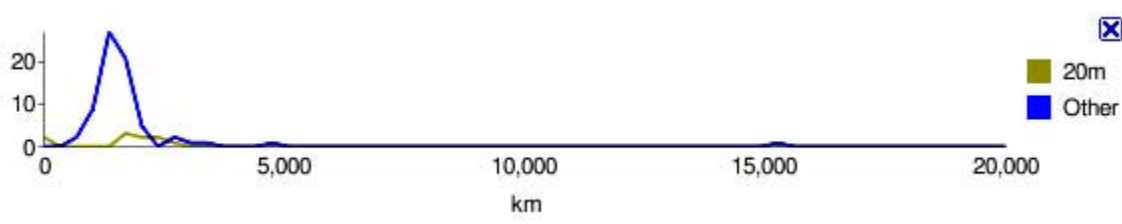


Рис. 1. Характеристика дистанцій передачі для станції UA1ANR

Система перспективна і вона буде ще продуктивніше працювати з ростом числа її учасників. Судячи зі спостережень за роботою системи, в Україні не так багато радіоаматорів беруть участь в її роботі. Основна причина – програмне забезпечення. Якщо подивитися статистику (остання таблиця), то можна побачити що велика частина учасників використовує програму «Digital Master 780» різних версій (складова частина програмного забезпечення Deluxe). У нашій же країні найбільш широко поширені програми «MixW» і «MMVARI». За останній час з'явилося доповнення до програми «MixW» у вигляді програми «Add2MixW» розміщеної на сервері QRZ.RU за адресою: <http://www.qrz.ru/shareware/detail/568> [5] це доповнення дозволяє користувачам «MixW» теж брати участь в цьому проекті. Таке доповнення набагато підвищить рейтинг наших радіоаматорів на світовій арені, та й самої програми «MixW» теж, та дасть можливість у майбутньому проводити якісний моніторинг проходження радіохвиль.

Однак, першим головним недоліком даних систем є необхідність ручного постійного моніторингу радіопростору що потребує певного персоналу та інших ресурсів. Другим головним недоліком є отримання інформації про дальні проходження радіохвиль по факту, що не дає можливості досліджувати процеси, що передують проходженню радіохвиль.

Постановка завдання

За мету взято розробку цифрової системи моніторингу проходження радіохвиль та запису атмосферних умов їх проходження для подальшої їх обробки.

Реалізація пристрою. Спираючись на названі вище вимоги, було розроблено перелік покращень, що були застосовані в даній розробці.

До схемотехнічних рішень можна віднести:

1. Системи моніторингу умов поширення радіохвиль обладнані блоками передачі та приймання даних як через мережу інтернет так і безпосередньо через радіоефір, що дозволяє розроблюваній системі взаємодіяти з системами з іншими рівнями сигналу, а також використовувати систему там де немає доступу до мережі інтернет.
2. Системи обладнані допоміжними схемами, які дозволяють розробленим блокам взаємодіяти з обладнанням. Такими схемами є блоки TNC KISS модемів, тощо.
3. Розроблювані системи мають у своєму складі схеми локального керування, що мінімізує кількість необхідного додаткового обладнання.

Проведено компіляцію операційної системи OpenWRT виконують в терміналі операційної системи сімейства Linux. На рис. 2 наведено скріншот вікна конфігурації.

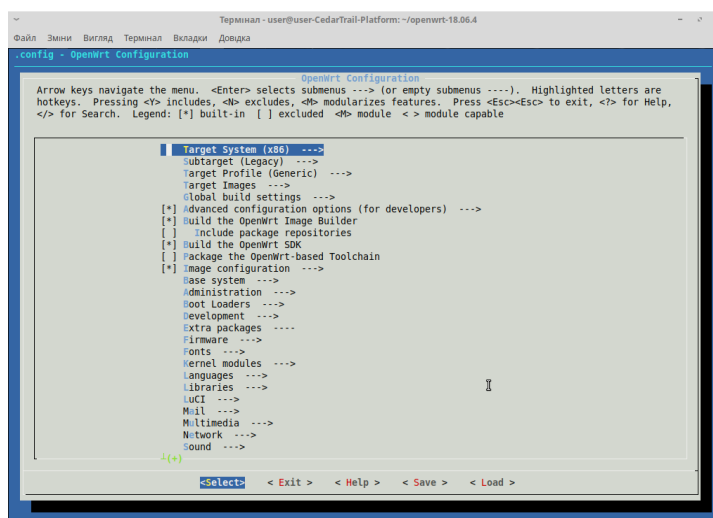


Рис. 2. Вікно конфігурації

На рис. 3 наведено фото макету, який було застосовано для експериментальної перевірки. В якості модему застосовано плату розробки Atmega328. Принципову схему складено з конекторів плати розробки Arduino Pro Mini (J1, J2, J3, POWER), конектору УКХ-радіо (J0), а також умовно 3 схем, реалізованих на дискретних елементах: схеми введення сигналу, схеми формування аудіо сигналу та схеми формування керувального сигналу РТТ.



Рис. 3. Макет електронної системи моніторингу стану атмосфери

Результати досліджень

Має сенс окрім збору даних організувати можливість зберігати дані за запитом у сховищі. В епоху мобільних пристроїв прив'язка до ПК є сумнівною. Зручніше орієнтуватися на хмарні сховища та мобільні термінали.

Проведено моделювання теоретичної зони покриття. Для моделювання використовувалась штирова антенна $\frac{1}{4} \lambda$, встановлена на висоті 40 м над рівнем землі з відповідними параметрами моделювання. На рис. 4 наведено змодельовану зону покриття.

Під час моделювання були отримані такі результати:

- 1) Зона слабого покриття має площу 6631 кв. км (жовтий колір). В цій зоні можливо буде спостерігати наявність низькоякісного зв'язку, під час будь-яких атмосферних явищ якість зв'язку буде суттєво змінюватись.
- 2) Зона надійного покриття 2817 кв. км (зелений колір). В цій зоні вплив атмосферних явищ на якість сигналу буде мінімальний.

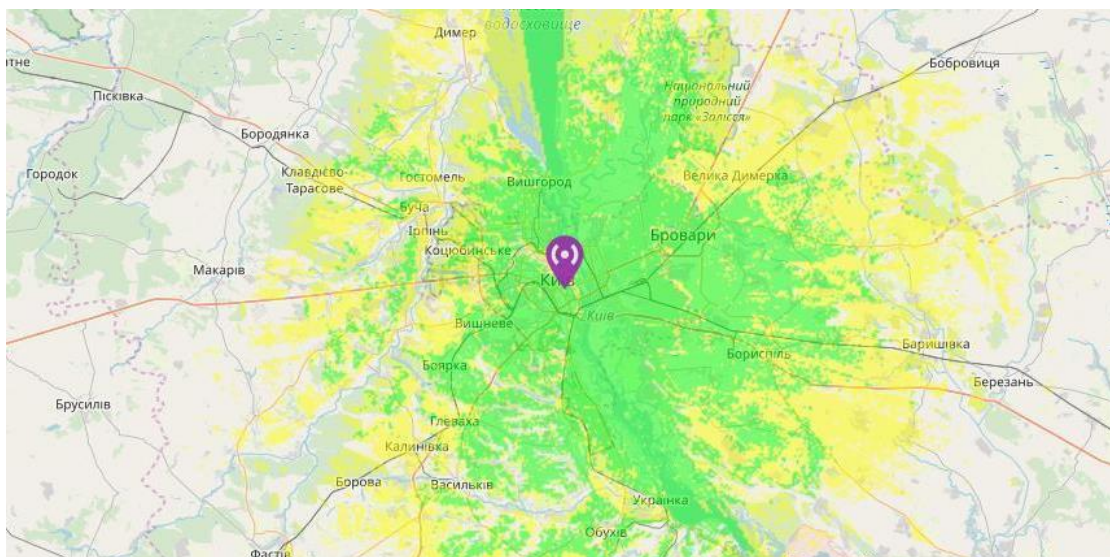


Рис. 4. Змодельована зона покриття

Тестування продовжувалось безперервно впродовж 5 днів. Запущений вузол – базова станція (БС) прийняв сигнал від рухомої станції (РС) UR5YBM-9 (див. рис. 5), станція знаходилась протягом свого маршруту на відстані 1-3,8 км в зоні прямої видимості.

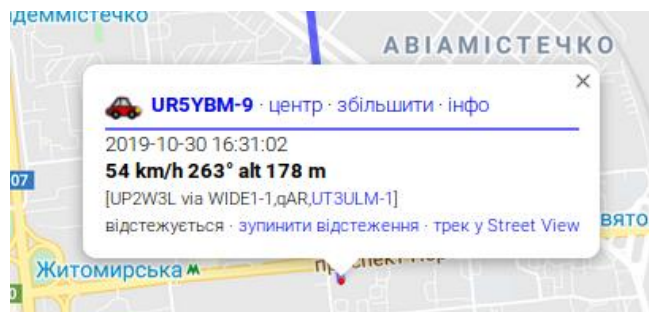


Рис. 5. Інформація про прийнятий БС сигнал від РС

Також можна спостерігати автоматично створену сторінку на сервісі aprs.fi (див. рис. 6), що свідчить про коректність налаштувань вузла.

На даній сторінці відображаються станції поруч, станції, що були почуті вузлом, а також станції що почули вузол, разом з інформацією про час, коли було почуто станцію. Також на сторінці станції можна побачити її координати та іншу інформацію. На даній сторінці можна побачити статистику та є посилання на телеметрію.

На жаль, за випадковим характером атмосферних явищ неможливо розрахувати чи змодельовати зону покриття під час дальнього проходження радіохвиль, ці данні можливо отримати тільки експериментально, як реалізацію випадкового процесу.

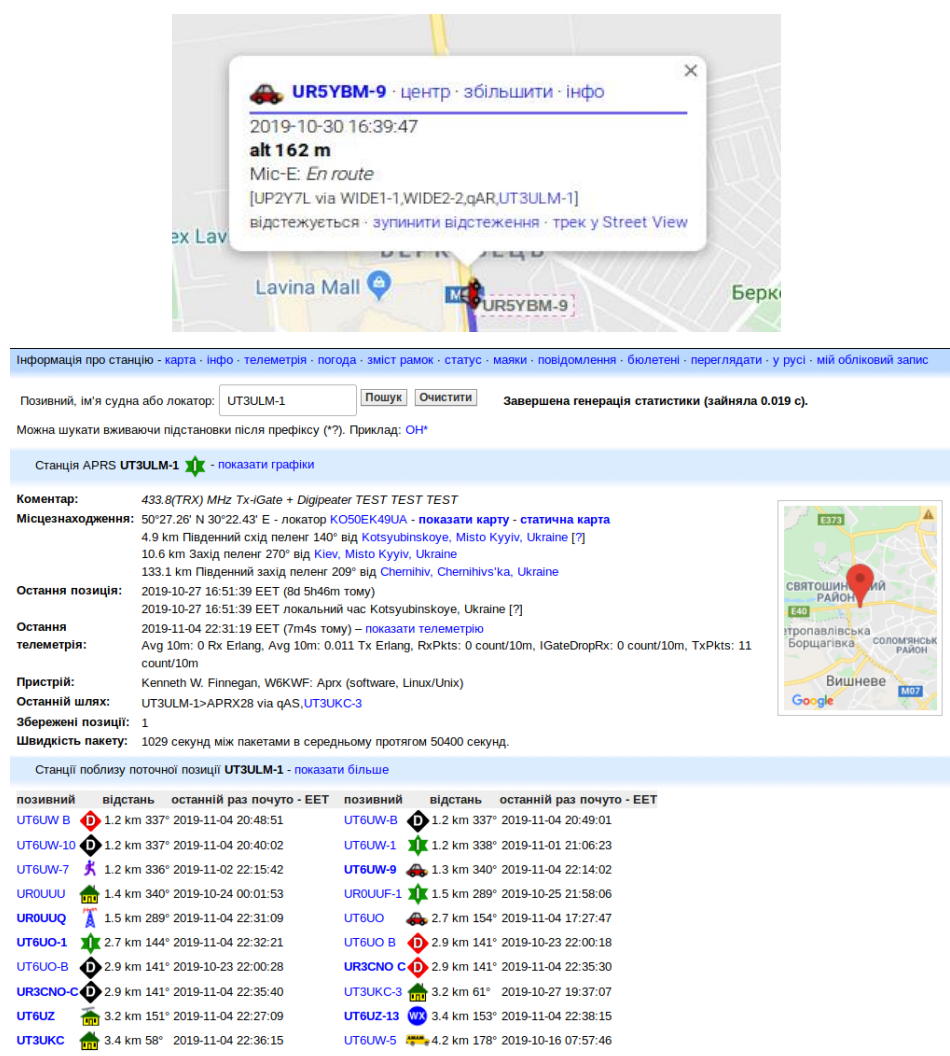


Рис. 6. Автоматично створена сторінка для БС на сайті aprs.fi

Висновки

Розроблена та досліджена електронна система моніторингу стану атмосфери. Трансивер обрано ICOM F420, побудований за схемою супергетеродину з подвійним перетворенням частоти та повноцінними вхідними смуговими фільтрами. Це забезпечило роботу системи в умовах електромагнітної обстановки великого міста, а саме роботу на домінуючій висоті з антеною кругової діаграми спрямованості в горизонтальній площині та середнім підсиленням.

Програмне забезпечення написано за допомогою С подібної мови, а також мови Python. За основу апаратно-програмного комплексу взято плату розробки Atmega328 в якості модему, ПК на базі архітектури x86. Також були задіяні такі програмні засоби як Arduino IDE, OpenWRT, aprs.fi та ін.

Створена електронна система розв'язує поставлені задачі автоматизації збору даних і отримання інформації (даних) щодо існування аномальних тропосферних та іоносферних каналів зв'язку. Це дозволяє уникнути похибок, спростити процес формування результатів, зменшити витрати апаратних ресурсів та часу. Стало можливо виконувати збір даних впродовж великих часових інтервалів. За рахунок автоматизації не потрібна наявність обслуговуючого персоналу.

Слід зауважити, що розроблена електронна система є універсальною і може використовуватись для моніторингу поширення радіохвиль на різних діапазонах радіочастот.

Список використаних джерел

1. Крюков П. С. Попытка создания портативной приемной КВ-установки для доплеровских ионосферных исследований / Крюков П. С., Поляков В. Т. // Цивилизация знаний: труды XIV Международной конференции, г. Москва, 26-27 апреля, 2013. –М. : РосНОУ, 2013.
2. Сайт «Wide-band WebSDR in Enschede, the Netherlands» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>
3. Веб сторінка «Display Reception Reports» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pskreporter.info/pskmap.html>
4. Веб сторінка «PSK Reporter Statistics» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pskreporter.info/cgi-bin/pskstats.pl>
5. Веб сторінка «Add2MixW» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.qrz.ru/software/detail/add2mixw_568
6. Веб сторінка «frequency score» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pskreporter.info/cgi-bin/psk-freq.pl>

References

1. Kryukov, P.S., & Polyakov, V.T., (2013). *Popytka sozdaniya portativnoy priemnoy KV-ustanovki dlya doplerovskikh ionosfernykh issledovaniy* [An attempt to create a portable receiving HF installation for Doppler ionospheric studies] // *Tsivilizatsiya znaniy: trudy XIV Mezhdunarodnoy konferentsii*, Moscow, April 26-27, 2013. – Moscow: RosNOU [in Russian].
2. Web site «Wide-band WebSDR in Enschede, the Netherlands» – Retrieved from <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>
3. Web page «Display Reception Reports» – Retrieved from <https://pskreporter.info/pskmap.html>
4. Web page «PSK Reporter Statistics» – Retrieved from <https://pskreporter.info/cgi-bin/pskstats.pl>
5. Web page «Add2MixW» – Retrieved from http://www.qrz.ru/software/detail/add2mixw_568
6. Web page «frequency score» – Retrieved from <https://pskreporter.info/cgi-bin/psk-freq.pl>

Starnavskiy IhorSVL2@ukr.net*Kyiv National University of
Technologies and Design**Shvaichenko Volodymyr*ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-9736-0800>ResearcherID: [J-5971-2017](https://orcid.org/0000-0000-9736-0800)Scopus Author ID: [8370080800](https://orcid.org/0000-0000-9736-0800)vbs2011@ukr.net*Kyiv National University of
Technologies and Design****Современные особенности мониторинга условий распространения радиоволн
Старнавский И. И., Швайченко В. Б.****Киевский национальный университет технологий и дизайна*

Цель. Разработка цифровой электронной системы мониторинга условий прохождения радиоволн и записи атмосферных условий их прохождения для дальнейшей обработки.

Методика. Математическое и компьютерное моделирование, системный анализ, сбор статистики.

Результаты. Доказано, что кроме сбора данных целесообразно организовать возможность хранить данные по запросу в облачном хранилище. В эпоху мобильных устройств применение мобильных терминалов и смартфонов предоставляет дополнительные возможности для определения состояния атмосферы в реальном времени.

Для решения задачи сбора, хранения и обработки данных разработан опытный образец на МК Atmel328.

Научная новизна. В работе нашел дальнейшее развитие метод определения условий распространения радиоволн на основе применения современной SDR-технологии. Смоделирована и реализована электронная система сбора данных, позволяет проводить исследования условий распространения радиоволн.

Практическая значимость. Разработана электронная система сбора данных предоставляет возможность проводить исследования условий распространения радиоволн. Полученные результаты имеют потенциал для использования в разработке систем мониторинга условий распространения радиоволн. Физическая реализация полученных решений может быть использована в учебных целях.

Ключевые слова: атмосфера, ионосфера, моделирование атмосферных процессов, мониторинг, прохождение радиоволн, сбор статистики, тропосфера

Modern monitoring features of the radio waves propagation***Starnavskiy I. I., Shvaichenko V. B.****Kyiv National University of Technology and Design*

Purpose. Development of a digital system for monitoring the transmission channels of radio waves and recording the atmospheric conditions for their passage for further processing. Methodology Mathematical and computer modeling, system analysis, statistics collection.

Methodology. Mathematical and computer modeling, system analysis, statistics collection.

Findings. It is proved that in addition to collecting data, it is advisable to organize the ability to store data on demand in a cloud storage. In the era of mobile devices, the use of mobile terminals and smartphones provides additional opportunities for determining the state

of the atmosphere in real time. To solve the problem of collecting, storing and processing data, an optimal sample was developed on the Atmel328.

Originality. *In the work, a method for determining the propagation conditions of radio waves based on the use of modern SDR technology was further developed. An electronic data acquisition system has been modeled and implemented, which allows research into the propagation conditions of radio waves.*

Practical value. *An electronic data acquisition system has been developed that provides the opportunity to study the propagation conditions of radio waves. The results obtained have the potential to be used in the development of systems for monitoring the propagation of radio waves. The physical implementation of the obtained solutions can be used for educational purposes.*

Keywords: *atmosphere, ionosphere, modeling of atmospheric processes, monitoring, radio wave propagation, statistics collection, troposphere*