

**Секція 5. Електроніка, радіотехніка та телекомунікації**

**Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки:**

2. Інформаційні та комунікаційні технології

**Назва напрямку секції:**

3. Науково-технічні проблеми телекомунікацій.

**Назва піднаправку секції:**

3.1. Теоретичні основи передавання і обробки інформації

**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**

**за науково-дослідною роботою за 2021 рік**

(Характер НДР: **ПРИКЛАДНЕ** дослідження/розробка)

**1. Тема НДР:** Системи зв'язку безпілотних апаратів з підвищеною стійкістю до впливу навмисних та ненавмисних завад (№ 2308-П)

**2. Керівник НДР:** Ільченко Михайло Юхимович

**3. Номер державної реєстрації НДР:** 0120U102120

**4. Назва вищого навчального закладу, наукової установи:** КПІ ім. Ігоря Сікорського, Науково-дослідний інститут телекомунікацій.

**5. Терміни виконання НДР:** початок – 01.01.2020, закінчення – 31.12.2022

**6. Обсяг коштів, виділених на виконання НДР у 2021 р. (на весь період / фактичний за 2021 рік )** 1.720,750,0 / 950,0 тис. грн.

**7. Опис процесу наукового дослідження (40 - 50 рядків тексту):**

- вказати використані методи наукових досліджень, методики, обладнання;

В дослідженнях застосована структуризація системи зв'язку безпілотного апарату, як засіб пізнання ступеня складності будь-якого об'єкта, чи процесу в ній на всіх рівнях (програмне забезпечення різних рівнів, управління трансиверами, підтримка протоколів та ін. ). Система зв'язку БПЛА розглядається як структурно-функціональна цілісність, в якій кожний елемент (апаратна підсистема, програмні компоненти FPGA, ARM, операційної системи, прикладний), має певне функціональне призначення, яке має узгоджуватися із загальними цілями системи.

На даному етапі виконання роботи проводились теоретичні дослідження, імітаційне моделювання з використанням програмного середовища Simulink/Matlab, розроблялось програмне забезпечення на основі розроблених методик та алгоритмів.

- зазначити, які з описаних в запиті ідей та гіпотез, реалізовані при виконанні НДР.

При виконанні етапів роботи в 2021 р. Були реалізовані наступні ідеї,гіпотези та вирішені наступні завдання:

- розроблено архітектуру системи зв'язку безпілотних апаратів малого та середнього класу цивільного та спеціального призначення, яка базується на застосуванні комбінації дубльованих каналів, що працюють в різних діапазонах частот;

- розроблено технічні вимоги до системи радіочастотної фільтрації для різного класу БПЛА, на базі яких розроблено структуру побудови системи радіочастотної фільтрації для різних схем організації каналів управління та телеметрії;

- розроблено імітаційну модель системи зв'язку безпілотного апарату, з імітацією впливу навмисних та ненавмисних завад на канал зв'язку, до складу якої було введено детектори енергетичних та структурованих завад;

- розроблено алгоритми забезпечення гарантованої якості зв'язку в умовах дії навмисних та ненавмисних завад, які базуються на алгоритмах детектування енергетичних, структурованих та імітаційних навмисних завад, адаптивній модуляції та кодуванні.

**8. Результати етапу (відповідно до технічного завдання) відобразити у таблиці:**

Номер етапу	Назва етапу згідно з технічним завданням.	Заплановані результати етапу	Отримані результати етапу
2 (2021р)	(за 2021 рік) <b>1 квартал</b> Розробка архітектурних рішень по побудові систем зв'язку для різних класів безпілотних апаратів.	(за 2021 рік) Архітектура систем зв'язку безпілотних апаратів малого та середнього класу цивільного та спеціального призначення.	(за 2021 рік) Розроблено архітектуру системи зв'язку безпілотних апаратів малого та середнього класу цивільного та спеціального призначення, яка базується на використанні різних діапазонів частот.
	<b>2 квартал</b> Розробка структури побудови системи широкосмугових програмно-переналаштовуваних багатодіапазонних радіочастотних фільтрів та технічні вимоги до них.	Структура системи широкосмугових програмно-переналаштовуваних багатодіапазонних радіочастотних фільтрів. Технічні вимоги до системи фільтрації.	Розроблено технічні вимоги до системи радіочастотної фільтрації для різного класу БПЛА. Розроблено структуру побудови системи радіочастотної фільтрації для різних схем організації каналів управління та телеметрії. Досліджено сучасний стан розробки широкосмугових програмно-переналаштовуваних радіочастотних фільтрів
	<b>3 квартал</b> Розробка імітаційної моделі системи зв'язку безпілотного апарату з імітацією впливу ненавмисних та навмисних завад різного виду.	Імітаційна модель системи зв'язку безпілотного апарату з імітацією впливу ненавмисних та навмисних завад різного виду.	Розроблено імітаційну модель системи зв'язку безпілотного апарату, з імітацією впливу навмисних та ненавмисних завад на канал зв'язку, до складу якої було введено додатково детектори енергетичних та структурованих завад.
	<b>4 квартал</b> Дослідження технологій забезпечення гарантованої якості зв'язку для різних класів безпілотних апаратів в умовах	Методи та алгоритми забезпечення гарантованої якості зв'язку безпілотних апаратів в умовах навмисних та ненавмисних завад.	Розроблено алгоритми забезпечення гарантованої якості зв'язку в умовах дії навмисних та ненавмисних завад, які базуються на алгоритмах детектування енергетичних, структурова-

	навмисних та ненавмисних завад.		них та імітаційних навмисних завад, адаптивній модуляції та кодуванні.
--	---------------------------------	--	--

**9. Наукова новизна та значимість отриманих наукових результатів (до 30 рядків тексту).**

При розробці структури системи зв'язку безпілотного апарату було застосовано комплексний підхід, який відповідає стратегії реалізації такої системи як автономної з підвищеним ступенем живучості до впливу різних видів навмисних та ненавмисних завад, що склало наукову новизну даного результату.

Розроблені архітектурні рішення по побудові системи зв'язку безпілотних апаратів малого та середнього класу цивільного та спеціального призначення, які базуються на застосуванні комбінації дубльованих каналів, що працюють в різних діапазонах частот дозволять істотно зменшити вплив таких завад та підвищити живучість БПЛА. Розроблена структура побудови системи радіочастотної фільтрації для різних схем організації каналів управління та телеметрії орієнтована на реалізацію цих архітектурних рішень по побудові каналів зв'язку таких БПЛА.

Розроблена в процесі виконання роботи імітаційна модель системи зв'язку безпілотного апарату, з імітацією впливу навмисних та ненавмисних завад на канал зв'язку, дозволить проводити подальші дослідження впливу цих завад на живучість БПЛА, визначити місця вразливості та методи протидії цим вразливостям.

Розроблені архітектурні рішення, методи та алгоритми виявлення навмисних завад, алгоритми їх детектування та протидії впливу цих завад на канал зв'язку дозволять в подальшому підвищити живучість БПЛА різноманітного призначення, що є особливо актуальним як для цілого класу безпілотних апаратів цивільного призначення, що можуть нести істотну небезпеку життю людей у випадку застосування до них потужних засобів постановки навмисних завад, так і для безпілотних апаратів спеціального призначення, до яких вже застосовуються найсучасніші засоби радіоелектронної боротьби.

**10. Відмінні риси і перевага отриманих результатів (продукції) над вітчизняними або зарубіжними аналогами чи прототипами (навести порівняння характеристик, ознак, властивостей, показників) (до 40 рядків тексту)**

Дослідження впливу навмисних завад на характеристики системи зв'язку цивільних БПЛА на даний час проводяться в усьому світі. При цьому результати досліджень в основному спрямовані на визначення того, як впливають завади на БПЛА, а не на визначення методів виявлення цих завад та методів зменшення її впливу. Тому ця частина майже не описана іншими науковцями в наукових публікаціях. В переважній більшості робіт описані критичні загрози і вразливості безпілотних апаратів та викладено проблеми і напрямки досліджень, яким необхідно слідувати для забезпечення безпеки БПЛА. При цьому існують і описи методів протидії безпілотним апаратам шляхом створення в тому числі і різних видів навмисних завад.

Основною відмінною рисою і перевагою отриманих результатів роботи є те, що вперше на системному рівні вирішується задача забезпечення живучості БПЛА та безпеки його використання в цивільних цілях. На даний час вітчизняних аналогів БПЛА, в яких використовуються рішення, що пропонуються в роботі, не існує. Порівняння з зарубіжними аналогами, що використовуються в БПЛА військового призначення, неможливе внаслідок відсутності відповідних публікацій у відкритому доступі.

**11. Практична цінність результатів та продукції** (галузі економіки та суспільства, де можливе їх використання, конкурентоспроможність та інвестиційна привабливість, ступінь впровадження, обсяг впровадження (грн.), споживачі продукції; обсяг коштів, необхідних для промислового впровадження результатів) (до 60 рядків тексту)

Технологія створення систем зв'язку безпілотних апаратів, яка розробляється в процесі виконання роботи згідно Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 серпня 2017 р. № 600-р відноситься до “Переліку критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки” під загальною назвою “Технології створення заводозахисних та шифрованих каналів управління та передачі даних безпілотних авіаційних комплексів” Потенційними замовниками результатів проекту є підприємства концерну “Укроборонпром” зокрема ВАТ "Меридіан" ім. С.П.Корольова, а також інші підприємства, які розробляють безпілотні літальні апарати.

Системи зв'язку безпілотних апаратів, науково-технічні засади створення яких розробляються в роботі, дозволять з однієї сторони істотно підвищити обороноздатність України, а з іншої сторони зменшити ризики використання безпілотних апаратів цивільного призначення, що має як пряму, так і опосередковану економічну ефективність.

Отримані результати на даному етапі мають практичну цінність і конкурентоспроможні, однак їх цінність істотно зросте при використанні їх у подальших дослідженнях, які заплановані при виконанні наступних етапів роботи.

**12. Використання результатів роботи у навчальному процесі за 2021 р. (НОВІ (ОНОВЛЕНІ) курси лекцій або їх розділи, практичні та лабораторні роботи, які створено (розроблено) на основі результатів НДР – до 20 рядків) (перелік з повними назвами)**

Результати НДР впроваджено у навчальний процес в Інституті телекомунікаційних систем НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" при підготовці бакалаврів спеціальності 172 “Телекомунікації та радіотехніка”, освітньої програми “Телекомунікації” спеціалізацій “Апаратно-програмні засоби електронних комунікацій” та “Мобільні телекомунікації”

– розроблено новий лекційний курс (9 лекцій) з дисципліни «Радіотехнічні системи на основі програмно - орієнтованих інфокомунікаційних пристроїв» та цикл лабораторних робіт (4 роботи) до нього.

– розроблено новий лекційний курс (18 лекцій) з дисципліни «Інженерні програмні засоби» та цикл лабораторних робіт (4 роботи) до нього.

**13. Результативність виконання ЕТАПУ науково-дослідної роботи**

	Показники	<b>Заплановано</b> (відповідно до <b>ЗАПИТУ</b> )	<b>Виконано</b> (за резуль- татами НДР)	<b>%</b> <b>вико- нання</b>
		кількість	кількість	%
<b>1.</b>	<b>Публікації виконавців за тематикою НДР:</b>			
	1.1. Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних.	2	3	150
	1.2. Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних.	-	2	200
	1.3. Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України.	2	1	50

	1.4. Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України.	5	10	200
	1.5. Монографії, опубліковані за рішенням Вченої ради ВНЗ (наукової установи).	1	1	100
	1.6. Підручники, навчальні посібники з грифом МОН України.	-	-	-
	1.7. Навчальні посібники без грифу МОН України.	-	-	-
	1.8. Словники, довідники.	-	-	-
<b>2.</b>	<b>Підготовка наукових кадрів:</b>			
	2.1. Захищено докторських дисертацій за тематикою НДР.	-	-	-
	2.2. Подано до розгляду спеціалізовану вчену раду докторських дисертацій за тематикою НДР.	-	-	-
	2.3. Захищено кандидатських дисертацій за тематикою НДР.	-	-	-
	2.4. Подано до розгляду у спеціалізовану вчену раду кандидатських дисертацій за тематикою НДР.	-	-	-
	2.5. Захищено магістерських робіт за тематикою НДР.	1	3	300
<b>3.</b>	<b>Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності створені за тематикою НДР:</b>			
	3.1. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) України.	-	1	100
	3.2. Подано заявок на отримання патенту України.	1	-	0
	3.3. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) інших держав.	-	-	-
	3.4. Подано заявок на отримання патенту інших держав.	-	-	-
<b>4.</b>	<b>Участь з ОПЛАТОЮ у виконанні НДР:</b>			
	4.1. Студентів.	3	-	0
	4.2. Молодих учених / аспірантів.	-/-	-/-	-/-

**14. БІБЛЮГРАФІЧНИЙ ПЕРЕЛІК монографій, підручників, посібників, словників, довідників, наукових статей, інших публікацій; ПЕРЕЛІК подані заявки та отримані патенти; ПЕРЕЛІК теми захищених та поданих до розгляду у спеціалізовану вчену раду дисертацій** (за матеріалами досліджень за період виконання НДР). *Тільки у такій послідовності*

Монографія:

Академік Михайло Ільченко: 60 років разом з КПІ / Упорядниця професор О.М. Ільченко –К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України. – 2021. – 472 с.

Статті в виданнях, що входять до наукоматричної бази Scopus:

- A. Zakharov, "Transmission Zeros of Trisection and Quadruplet Bandpass Filters With Mixed Cross Coupling," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 69, no.1, Part 1, pp.89-100, Jan.2021.
- A. Zakharov, S. Rozenko, L.Pinchuk, and S. Litvintsev, "Microstrip Quazi-Elliptic Bandpass Filter With Two Pairs of Anti-Parallel Mixed-Coupled SIRs," *IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett*, vol. 31, no. 5, pp. 433-436, May. 2021.
- A. V. Zakharov, S. A. Rozenko and S. N. Litvintsev «Fourth-Order Microstrip Band-Pass Filter with Mixed Cross-Coupling», *Journal of Communications Technology and Electrics*, vol. 66, no. 2, pp. 211-219. **2021**. DOI: 10.1134/S1064226921020157

Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних Scopus

- M. M. Kaidenko and S. O. Kravchuk, "Anti-Jamming System for Small Unmanned Aerial Vehicles," *2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD)*, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/APUAVD53804.2021.9615403.
- S. O. Kravchuk, M. M. Kaidenko and I. M. Kravchuk, "Experimental Development of Communication Services Scenario for Centralized and Distributed Construction of a Collective Control Network for Drone Swarm," *2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD)*, 2021, pp. 21-24, doi: 10.1109/APUAVD53804.2021.9615433.

Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України:

- A.V. Zakharov, S.N. Litvintsev, S.A. Rozenko, "Distributed resonators from comparable sections of transmission line", *Radioelectronics and Communications Systems*, 2021, vol. 64, no. 3, pp. 107–124. Q4 DOI: <https://doi.org/10.3103/S0735272721030018>

Публікації в матеріалах конференцій:

- Ільченко М.Ю., Кайденко М.М. Особливості радіочастотної фільтрації в SDR системах // XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2021: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с.170-172.
- Гетьман О.В., Кайденко М.М., Роскошний Д.В. Загрози безпеці та проблеми вразливості безпілотних літальних апаратів // XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2021: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с.180-182.
- Кайденко М.М., Роскошний Д.В. Особливості застосування SYSTEM-ON-CHIP INTEL TA XILINX при розробці SDR систем // XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2021: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с.183-185.
- Кайденко М.М. Захищена від впливу навмисних завад система зв'язку малогабаритних безпілотних літальних апаратів // XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2021: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с.199-201.
- Zhivkov A., Akopian P., Galickiy I., Krylach O., Kopaniev M., Kamarali R. Microwave filters with variable parameters based on cells of metamaterials. / XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2021: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с.79-82.

- M. M. Kaidenko and S. O. Kravchuk, "Anti-Jamming System for Small Unmanned Aerial Vehicles" // 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD). Proceeding, October 19-20, 2021, Kyiv, Ukraine, - IEEE catalog Number CFP 2129V-USB.- p.17-20, doi: 10.1109/APUAVD53804.2021.9615403.

- S. O. Kravchuk, M. M. Kaidenko and I. M. Kravchuk, "Experimental Development of Communication Services Scenario for Centralized and Distributed Construction of a Collective Control Network for Drone Swarm" // 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD). Proceeding, October 19-20, 2021, Kyiv, Ukraine. - IEEE catalog Number CFP 2129V-USB. - p. 21-24, doi: 10.1109/APUAVD53804.2021.9615433.

- Кравчук С.О., Кравчук І.М. Аналіз моделей втрат на поширення для радіоліній земля-повітря / XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2021: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с.173-175.

- К. Лісовський, Н. Кириндась, М. Ільченко, О. Живков, Є. Куліков, Д. Субботський Перспективи розвитку проекту супутникового зв'язку STARLINK в Україні / XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2021: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с.34-37.

- В. Г. Слободян, О. П. Живков Активні та пасивні методи захисту приміщень від витоку інформації віброакустичним каналом / Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики: матеріали XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (13 – 14 травня 2021 р., м. Київ, Україна) / Уклад.: Василенко О. Д., Пономаренко С. М., Бех С. В., Степаненко В. М., Мирошникова І. Ю., Деркач О. Г., Козленко О. В. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавництво «Політехніка», 2021.с. 164-165/

Патенти України:

- Патент на корисну модель «Смуго-пропускаючий решітчастий фільтр», № 146716 від 10.03.2021, Бюл. № 10. Автори О.В. Захаров, С.О. Розенко, С.М. Літвінцев, Л.С. Пінчук.

#### **15. Використання результатів НДР в промисловості (інших галузях) (до 30 рядків):**

- проведено промислові випробування;
- виготовлено експериментальний зразок;
- впроваджено результати (укладено госпдоговорів / продано ліцензій – вказати номер договору, обсяг договору, замовника, терміни виконання / номер ліцензії, сума ліцензії, покупець, дата).

- Договір на надання експертних послуг № Д/0201.01/4020.02/12/2021 від “22” січня 2021 року . «Експертний висновок щодо закупівлі Центром оперативного зв'язку телекомунікаційних систем та інформаційних технологій ДСНС України “Послуги телефонного зв'язку та передачі даних” (Код ДК 021:2015 64210000-1: Послуги телефонного зв'язку та передачі даних) у ТОВ “УКРКОМ”; обсяг договору: 3 тис. грн.; Замовник: Товариство з обмеженою відповідальністю «УКРКОМ», термін виконання: січень 2021 р.

- Договір на надання експертних послуг № Д/0201.01/4020.02/68/2021 від “15” лютого 2021 року. «Експертний висновок про підтвердження наявності у ТОВ «УКРКОМ» сучасної Системи захисту Інтернет-трафіку від DoS та DDoS атак»; обсяг договору: 3 тис. грн.; Замовник: Товариство з обмеженою відповідальністю «УКРКОМ», термін виконання: лютий 2021 р.

- Договір на надання експертних послуг № 1/2/516 від “\_\_\_” грудня 2021 року .  
«Експертний висновок щодо закупівлі Національним університетом охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика “Послуги телефонного зв'язку та передачі даних” (Код ДК 021:2015 64210000-1: Послуги телефонного зв'язку та передачі даних)», «Експертний висновок щодо закупівлі Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) “Послуги телефонного зв'язку та передачі даних” (Код ДК 021:2015 64210000-1: Послуги телефонного зв'язку та передачі даних)» у ТОВ «УКРКОМ»; обсяг договору: 6 тис. грн.; Замовник: Товариство з обмеженою відповідальністю «УКРКОМ», термін виконання: грудень 2021 р.

**16. Кількість співробітників, які брали участь у виконанні НД:**

штатних д.т.н. - 1, к.т.н. - -, без ступеня- 6 (не включаючи аспірантів) 7,  
сумісників д.т.н. - 1, к.т.н. - 1, без ступеня- 1 (не включаючи аспірантів) 3,  
з них: молодих учених (к.т.н. - до 35 років, д.т.н. - до 40 років включно): штат./сум. -/-,  
аспірантів з оплатою/без оплати -/-,  
студентів з оплатою/без оплати: маг.проф. -/-/3, маг.наук. -/-/-, бак. -/-/1.

**17. Рішення науково-технічної ради від " 15 " грудня 2021 року, протокол № 7 :**  
       етап роботи НДР №        виконано в повному обсязі та відповідно ТЗ.

**Керівник роботи**

**/Відповідальний виконавець:**

\_\_\_\_\_ Микола КАЙДЕНКО  
підпис

**Гол. НТР**

**НДІ телекомунікацій:**

\_\_\_\_\_ Михайло ІЛЬЧЕНКО  
підпис

**МП**