

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

**Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки**

2. Інформаційні та комунікаційні технології.

**Назва напрямку секції ( не більше 2)**

3. Науково-технічні проблеми телекомунікацій

**Назва піднапрямку секції**

3.1 Теоретичні основи передавання і обробки інформації

## **АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**

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

**(Характер НДР: ПРИКЛАДНА розробка)**

**1. Тема НДР:** Розробка приймально-передавального модуля терагерцового діапазону для високоточних систем наведення і керування (№2414-р)

**2. Керівник НДР:** Авдеєнко Гліб Леонідович

**3. Номер державної реєстрації НДР:** № 0121U110723

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

**5. Терміни виконання НДР:** початок – 01.01.2021 р. закінчення – 31.12.2022 р.

**6. Обсяг коштів, виділених на виконання НДР у 2021 р. (на весь період / фактичний за 2021 рік )** 1152 / 701,855 тис. грн.

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

Проведено теоретичний розрахунок параметрів (тривалість та період імпульсу, ширина смуги випромінювання тощо) зонduючого ЛЧМ-сигналу приймально-передавального модуля терагерцового діапазону для забезпечення необхідної дальності його дії в складі радіолокатора системи наведення та керування.

Проведено аналіз варіантів побудови структурних схем радіолокаторів ближньої дії терагерцового діапазону, на основі якого виконано розробку структурної схеми приймально-передавального модуля терагерцового діапазону. Описано принцип дії компактного приймально-передавального модуля терагерцового діапазону.

Виконано імітаційне моделювання для визначення та обґрунтування електричних параметрів високочастотного тракту приймально-передавального модуля терагерцового діапазону та цифрового тракту формування зонduючого сигналу та обробки прийнятого сигналу.

Здійснено попередні лабораторні випробування макету радара ближньої дії від компанії Silicon Radar в діапазоні частот 120 ГГц, внаслідок яких визначено дальність дії радара при використанні внутрішньої патч-антени та зовнішньої діелектричної лінзової антени.

Визначено електричні параметри основних вузлів ВЧ тракту приймальнопередавального модуля терагерцового діапазону, електричні параметри тракту формування зонduючого ЛЧМ-сигналу та тракту обробки прийнятого ЛЧМ-сигналу.

Спроектовано та виготовлено експериментальні зразки друкованих плат ВЧ-тракту приймально-передавального модуля терагерцового діапазону на базі ІМС TRX120\_01 та TRA120\_02. Виконано монтаж електронних компо-нентів на виготовлені друковані плати. Розроблено принципову електричну схему та розпочато проектування друкованої плати тракту формування зонduючого сигналу та обробки I/Q сигналу.

Проведено попередні випробування розроблених плат ВЧ тракту приймально-передавального модуля терагерцового діапазону.

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

Номер етапу	Назва етапу згідно з технічним завданням.	Заплановані результати етапу	Отримані результати етапу
етап (2021 р.)	<p>(за 2021 рік)</p> <p><b>1 квартал</b></p> <p>Розробка технічного завдання. Розрахунок параметрів зондуючого сигналу приймально-передавального модуля терагерцового діапазону для забезпечення необхідної дальності його дії в складі системи наведення та керування. Розробка структурної схеми приймально-передавального модуля терагерцового діапазону.</p>	<p>(За 2021 рік)</p> <p>Узгоджене технічне завдання на науково-дослідну роботу. Параметри зондуючого сигналу (тривалість та період імпульсу, ширина смуги випромінювання). Порівняльна характеристика варіантів структурних схем побудови приймально-передавального модуля терагерцового діапазону. Принцип дії компактного приймально-передавального модуля терагерцового діапазону.</p>	<p>(за 2021 рік)</p> <p>Результати розрахунку та імітаційного моделювання для визначення параметрів зондуючого ЛЧМ-сигналу (тривалість та період імпульсу, ширина смуги випромінювання тощо), що забезпечують необхідну дальність дії радіолокатора високочоточних систем наведення і керування. Порівняльна характеристику варіантів побудови структурних схем приймально-передавального модуля терагерцового діапазону систем радіолокації ближньої дії. Структурна схема приймально-передавального модуля терагерцового діапазону на базі ІМС Silicon Radar</p>
	<p><b>2 квартал</b></p> <p>Імітаційне моделювання для визначення та обґрунтування електричних параметрів високочастотного тракту приймально-передавального модуля терагерцового діапазону та цифрового тракту формування зондуючого сигналу та обробки прийнятого сигналу.</p>	<p>Імітаційне моделювання для визначення та обґрунтування електричних параметрів високочастотного тракту приймально-передавального модуля терагерцового діапазону та цифрового тракту формування зондуючого сигналу та обробки прийнятого сигналу.</p>	<p>Імітаційне моделювання та попередні лабораторні випробування макету радара ближньої дії від компанії Silicon Radar в діапазоні частот 120 ГГц. Визначено дальність дії радара при використанні внутрішньої патч-антени та зовнішньої діелектричної лінзової антени.</p>

			<p>Визначено електричні параметри основних вузлів ВЧ тракту приймально-передавального модуля терагерцового діапазону, електричні параметри тракту формування зондуючого ЛЧМ-сигналу та тракту обробки прийнятого ЛЧМ-сигналу.</p> <p>Принципові електричні схеми ВЧ тракту приймально-передавального модуля на базі ІМС Silicon Radar TRX120_001 та TRA120_002 для діапазону 120 ГГц.</p>
<b>3 квартал</b>	<p>Розроблення принципів електричних схем та проєктування друкованих плат високочастотного тракту та цифрового тракту формування зондуючого сигналу та обробки прийнятого сигналу приймально-передавального модуля терагерцового діапазону</p>	<p>Розроблення принципів електричних схем та проєктування друкованих плат високочастотного тракту та цифрового тракту формування зондуючого сигналу та обробки прийнятого сигналу приймально-передавального модуля терагерцового діапазону</p>	<p>Спроектовано та виготовлено експериментальні зразки друкованих плат ВЧ-тракту приймально-передавального модуля терагерцового діапазону на базі ІМС TRX120_01 та TRA120_02.</p> <p>Виконано монтаж електронних компонентів на виготовлені друковані плати. Розроблено принципіву електричну схему та розпочато проєктування друкованої плати тракту формування зондуючого сигналу та обробки I/Q сигналу. Проведено попередні випробування розроблених плат ВЧ тракту приймально-передавального модуля терагерцового діапазону</p>
<b>4 квартал</b>	<p>Розроблення ескізної</p>	<p>Розроблення ескізної конструкторської</p>	<p>Ескізна конструкторська документа-</p>

	<p>конструкторської документації (ЕКД) на виготовлення макетного зразка компактного приймально-передавального модуля.</p>	<p>документації (ЕКД) на виготовлення макетного зразка компактного приймально-передавального модуля.</p>	<p>ція:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- схема електрична принципова друкованої плати ВЧ тракту приймальнопередавального модуля терагерцового діапазону на базі ІМС TRX120_01;</li> <li>- схема електрична принципова друкованої плати ВЧ тракту приймально-передавального модуля терагерцового діапазону на базі ІМС TRA120_02;</li> <li>- специфікації електронних компонентів для виготовлення друкованої плати ВЧ тракту приймально-передавального модуля;</li> <li>- схеми електрична принципова синтезатора частот та каналу обробки I/Q сигналів;</li> <li>- специфікація електронних компонентів для виготовлення друкованої плати синтезатора частот та каналу обробки I/Q сигналів.</li> </ul>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

Наукова новизна полягає у застосуванні для випромінювання радіолокатором зонduючого ЛЧМ-сигналу терагерцового діапазону частот (120 ГГц). Вказане дозволяє використовувати для роботи радіолокатора ЛЧМ-сигнали, спектри яких займають смугу радіочастот у декілька ГГц (для трансиверів Silicon Radar TRX120\_001 та TRA120\_002 смуга частот складає 5-6 ГГц), і як результат, забезпечуючи при цьому високу роздільну здатність за дальністю до цілі на рівні кількох одиниць-десятків сантиметрів. Крім того, робота радіолокатора в терагерцовому діапазоні дозволяє досягнути необхідну якість високошвидкісного терагерцового каналу передачі при практичній відсутності можливості виявлення і несанкціонованого доступу до інформації, що передається, а також забезпечити електромагнітну сумісність з діючими радіоелектронними засобами радіотехнічних систем.

**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)

Робота не має прямих аналогів у світовій науці і техніці, є розробкою національного рівня, в якій за рахунок використання нових схемотехнічних та конструктивних рішень, новітньої мікроелектронної елементної бази буде створено макетний зразок компактного приймально-передавального модуля з інтегрованою антеною на частотний діапазон 119-126 ГГц і дальністю дії до 300 метрів з вкрай малими габаритними розмірами (діаметр до 35 мм, довжиною до 40 мм) для високоточних систем наведення і керування. Зазначені параметри вперше будуть досягнуті в терагерцовому діапазоні частот.

Можливими користувачами макетного зразка приймально-передавального модуля терагерцового діапазону є:

– ВАТ «Меридіан» ім. С. П. Корольова, ПАТ НВП «Сатурн», Інститут електроніки та зв'язку Української академії наук, Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова Національної академії наук України;

– провайдери та оператори телекомунікацій, підприємства УкрОборонПрому, підприємства Концерну РРТ, науково-дослідні та проектно-конструкторські організації при створенні нового покоління радіотехнічних та телекомунікаційних систем;

– вищі навчальні заклади при підготовці фахівців та наукових кадрів радіотехнічного та телекомунікаційного профілів.

Потенційним виробником є науково-виробниче підприємство ВАТ «Меридіан» ім. С.П.Корольова при налагодженні виробництва розроблених компактних приймальнопередавальних модулів терагерцового діапазону різного призначення, зокрема для контрольно-вимірювальної апаратури.

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

Нова лекція «Побудова приймальнопередавальних пристроїв терагерцового діапазону для безпроводових телекомунікаційних систем та систем радіолокації» з кредитного модулю «Передавальні та приймальні пристрої»

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

	Показники	<u>Заплановано</u> (відповідно до <b>ЗАПИТУ</b> )	<u>Виконано</u> (за резуль- татами НДР)	<u>%</u> <u>вико-</u> <u>нання</u>
		кількість	кількість	%
1.	<b>Публікації виконавців за тематикою НДР:</b>			
	1.1. Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних.	1	1	100
	1.2. Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних.	1	2	200
	1.3. Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України.	2	4	200
	1.4. Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України.	–	–	–
	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.	–	<b>1</b>	–
	1.8. Брошури, ДСТУ, довідники, словники, тощо.	–	–	–
2.	<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.	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>100</b>
	2.4. Подано до розгляду у спеціалізовану вчену раду кандидатських дисертацій за тематикою НДР.	–	–	–
	2.5. Захищено магістерських робіт за тематикою НДР.	–	–	–
3.	<b>Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності створені за тематикою НДР:</b>			
	3.1. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) України.	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>100</b>
	3.2. Подано заявок на отримання патенту України.	–	–	–
	3.3. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) інших держав.	–	–	–
	3.4. Подано заявок на отримання патенту інших держав.	–	–	–
4.	<b>Участь з ОПЛАТОЮ у виконанні НДР:</b>			
	4.1. Студентів.	–	–	–
	4.2. Молодих учених / аспірантів.	–	–	–

**14. БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ПЕРЕЛІК** монографій, підручників, посібників, словників, довідників, наукових статей, електронних сертифікованих видань, інших публікацій; **ПЕРЕЛІК** поданих заявок та отримані патенти; **ПЕРЕЛІК** тем захищених та поданих до розгляду у спеціалізовану вчену раду дисертацій, **ПЕРЕЛІК** створених/поданих/фіналістів конкурсів стартап-проектів (за матеріалами досліджень за період виконання НДР).

*Монографії:*

1. Мережі мобільного зв'язку нового покоління 4G/5G/6G // Сайко В.Г., Одарченко Р.С., Абакумова А.О., Наритник Т.М., Наконечний В.С., Домрачев В.М., Толюпа С.В., Заблоцький В.Ю., Баховський П.Ф.: монографія. – К.: ТОВ «Про формат», 2021. – 200 с., pp.207-212.

*Підручники:*

1. Лошаков, В. А., Наритник, Т. М., Сабурова, С. О «Technologies of digital Television» Харків: Навчальний посібник– 2021, 197 с.

*Наукові статті:*

1. Ichenko, M., Narytnyk, T., Avdeyenko, G. Wireless Communication Systems of Terahertz Frequency Range //Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, 212 LNNS, pp. 189–222.
2. Наритник, Т.М. Дослідження впливу Допплерівського зсуву частоти на функціонування протоколу LoRaWAN / Т. М. Наритник, А. О. Новіцька, С. В. Капштик// Науковий журнал «Вісник університету «Україна», серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика -2021.-№2 (23).-С.100-110.
3. Авдєєнко, Г. Л. Апаратно-програмний комплекс на базі модуляторів Dektec для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення /Г. Л. Авдєєнко, Т. М. Наритник, А. Р. Сливка // Науковий журнал «Вісник університету «Україна», серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика -2021.-№2 (24). С. 15-29.
4. Авдєєнко, Г.Л. Трансляція радіосигналів цифрового телебачення стандарту DVB-C по наземному радіоканалу НВЧ діапазону / Г. Л. Авдєєнко, Т. М. Наритник, А. Р. Сливка // Науковий журнал «Вісник університету «Україна», серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика -2021.-№2 (24). С. 35-42.
5. Наритник Т.М., Сайко В.Г., Корсун В.І., Сивкова Н.М., Семерей С.І. Багатопозиційна телекомунікаційна система впливу електромагнітного випромінювання на супутникові широкосмугові лінії радіозв'язку // Вісник університету «Україна», серія «Інформатика, обчислювальна техніка, кібернетика» - 2021.- № 2 (24), С. 75-89.

*Матеріали конференцій:*

1. Avdeyenko, G., Narytnyk, T. Design of the short-range FMCW radar of the terahertz band// 2021 IEEE 5th International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo-2021 – Proceedings, 2021., pp.207-212.
2. Avdeyenko G., Narytnyk, T. Hardware and Software Complex for Digital Television Signals Generation and Research // Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T-2021) – Proceedings , 2021 Kharkiv, Ukraine.
3. Сливка А.Р., Авдєєнко Г.Л. Апаратно-програмний комплекс на базі модуляторів Dektec для формування та дослідження сигналів цифрового телевізійного мовлення // XIII Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРІТС 2021: Збірник тез конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. с.73-75.
4. Авдєєнко Г.Л., Денисенко Н.І. Огляд та аналіз існуючих алгоритмів радіопеленгації джерел випромінювання для радіотехнічних систем // XIII Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРІТС 2021: Збірник тез конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. с.146-148.
5. Сайко В.Г., Домрачев В.М., Наритник Т.М., Наконечний В.С. Аналіз напрямків підвищення ефективності управління енергетичним потенціалом радіоліній 5G в діапазоні вкрай високих частотах//Прикладні системи та технології і інформаційному суспільстві: збірник тез та наукових повідомлень учасників V науково-практичної конференції (Київ, 30 вересня 2021 р.) / за заг. ред. В.Л. Плєскач, В.Л. Миронова – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2021. – с. 216-222.

### *Захищені дисертації:*

Тема дисертації: «Методи просторової обробки сигналів в радіотехнічних системах при прийманні електромагнітних хвиль зі сферичними фазовими фронтами», спеціальність 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи (Дата та місце захисту: 22.03.2021р, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Спеціалізована Вчена рада Д26.002.14, здобувач Авдєєнко Г. Л.).

### *Патенти:*

1. Патент на корисну модель № 147763 (Україна). Низькоорбітальна супутникова мережа з архітектурою розподіленого супутника з автономною системою для визначення кутової орієнтації малих супутників на орбіті, G01S 19/00 // Сайко В. Г., Домрачев В. М., Наритник Т. М., Пром. Власність, №23 (10.06.2021)

2. Патент на корисну модель №147865 (Україна). Спосіб когнітивного багатокористувацького доступу з OFDMA для низькоорбітальної системи з архітектурою розподіленого супутника, H04W 72/00, H04B 7/208 // Сайко В. Г., Домрачев В. М., Наритник Т. М., Пром. Власність, №24 (16.06.2021)

### *Стартап-проект:*

1. «Передавальний та приймальний пристрої терагерцового діапазону для бездротових інфокомунікаційних систем», X Фестиваль інноваційних проектів «Sikorsky Challenge 2021:Україна і світ», фіналіст конкурсу, 12-14 серпня 2021р., м. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, проспект Перемоги, 37.

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

1. Укладено технічне завдання на «Розробку радіолокатора-підривача терагерцового діапазону» між «Державним Київським конструкторським бюро «Луч» та КПІ ім. Ігоря Сікорського (Співпраця з підприємством оборонно-промислового комплексу України, ТЗ затверджено 01.09.2021р).

2. Участь у X Фестивалі інноваційних проектів «Sikorsky Challenge 2021:Україна і світ», Секція №1 «Оборона та безпека», стендова доповідь: «Передавальний та приймальний пристрої терагерцового діапазону для бездротових інфокомунікаційних систем», 12-14 серпня 2021р., м. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, проспект Перемоги, 37.

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

штатних д.т.н. - 0, к.т.н. - 0, без ступеня- 0 (не включаючи аспірантів) 0,  
сумісників д.т.н. - 1, к.т.н. - 2, без ступеня - 5 (не включаючи аспірантів) 5,  
з них: молодих учених (к.т.н. - до 35 років, д.т.н. - до 40 років включно): штат./сум. 0/0,  
аспірантів з оплатою/без оплати 0/0,  
студентів з оплатою/без оплати: маг.проф. 0/1, маг.наук. 0/0, бак. 0/4.



**17. Рішення науково-технічної ради від " 15 " грудня 2021 року, протокол № 7 :**  
**1й етап роботи НДР № 2414-р виконано в повному обсязі та відповідно ТЗ.**

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ Гліб АВДЄЄНКО  
підпис

**Гол. НТР  
НДІ телекомунікацій:**

\_\_\_\_\_ Михайло ІЛЬЧЕНКО  
підпис  
**МП**