

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Наказ Міністерства освіти і науки  
України від 03.11.2020 № 1362

**Форма проєкту науково-технічної (експериментальної) розробки**

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

**Назва проєкту:** Розробка приймально-передавального модуля терагерцового діапазону для високоточних систем наведення і керування

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

Інформаційні та комунікаційні технології . Нові апаратні рішення для перспективних засобів обчислювальної техніки, інформаційних і комунікаційних технологій

**Назва напрямку секції** (згідно із паспортом секції обирається до 2-х напрямків):

**3. Науково-технічні проблеми телекомунікацій**

- 3.1. Теоретичні основи передавання і обробки інформації
- 3.2. Системи і мережі

**Організація-виконавець:** Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Адреса: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37

АВТОРИ ПРОЄКТУ:

**Керівник проєкту: Авдєєнко Гліб Леонідович**

Місце основної роботи: КПІ ім. Ігоря Сікорського

Посада: старший викладач кафедри телекомунікацій ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського

Тел.: 044-204-81-97, моб. 097-527-24-35, E-mail: djang02006@ukr.net

**Відповідальний виконавець проєкту: Наритник Теодор Миколайович**, кандидат технічних наук, академік Української академії наук, директор Інституту електроніки та зв'язку Української академії наук

Тел.: 407-65-47, моб. 067-444-07-47, E-mail:director@mitris.com

Проєкт розглянуто й погоджено рішенням науково-технічної ради НДІ телекомунікацій КПІ ім. Ігоря Сікорського від «17» листопада 2020р., протокол № 5.

Керівник проєкту

\_\_\_\_\_/Гліб АВДЄЄНКО/

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2020 р.

Проректор з наукової роботи  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

\_\_\_\_\_/Віталій ПАСІЧНИК

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2020 р.

ПРОЄКТ

науково-технічної (експериментальної) розробки, що виконуватиметься за рахунок  
видатків загального фонду державного бюджету

**Назва проєкту:** Розробка приймально-передавального модуля терагерцового діапазону для високоточних систем наведення і керування

**Пропоновані терміни виконання проєкту (до 24 місяців):**  
з 01.01.2021 р. по 31.12.2022 р.

**Орієнтовний обсяг фінансування проєкту:** 1440 тис. грн.

**1. АНОТАЦІЯ** (до 15 рядків)  
(короткий зміст проєкту)

Основним очікуваним, науково обґрунтованим та доведеним до практичної реалізації результатом виконання проєкту буде **макетний зразок приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні частот для високоточних заводозахисних систем наведення і керування спеціальними технічними об'єктами, які входять до складу комплексів, що працюють в інтересах національної безпеки та оборони України.** Макетний зразок буде створено на запропонованому авторами методі формування та обробки модульованих сигналів, що забезпечить необхідну якість високошвидкісного каналу передачі інформації в терагерцовому діапазоні частот; при цьому практично виключається можливість несанкціонованого доступу до інформації, що передається.

Виконання роботи ґрунтується на попередніх наукових дослідженнях, які були проведені колективом вчених та розробників Науково-дослідного інституту телекомунікацій НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Ці дослідження створили вперше в Україні реальні передумови вирішення фундаментальної проблеми побудови цифрової високошвидкісної заводостійкої системи безпроводової передачі інформації з високою інформаційною ємністю з використанням субтерагерцових технологій.

**2. ПРОБЛЕМАТИКА ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКИ** (до 15 рядків)

2.1. Прикладна проблема, на вирішення якої спрямовано проєкт (у тому числі, можливо, у сфері національної безпеки та оборони України або подвійного призначення).

Сучасні ракетні комплекси, що розробляються та серійно випускаються ДП «Державне Київське конструкторське бюро «ЛУЧ», потребують застосування дистанційного підривача бойових частин ракети на основі радіолокатора для високоточних систем наведення і керування. Відтак, існує нагальна потреба в створенні компактних приймально-передавальних модулів для радіолокаційних підривачів в надвисокочастотному радіодіапазоні, що дозволить за рахунок використання сучасної мікроелектронної елементної бази суттєво зменшити масу і габарити виробу та забезпечити заводозахисність проти несанкціонованого підриву противником на траєкторії польоту ракети. Саме на вирішення цієї прикладної проблеми спрямований даний проєкт. **Цей проєкт за тематикою та предметом дослідження відповідає вирішенню проблем в рамках пріоритетних напрямів розвитку науки України (див. пункт 7.1).**

2.2. Об'єкт дослідження і розробки.

Приймально-передавальний модуль терагерцового діапазону для високоточних систем наведення і керування.

### 2.3. Предмет дослідження і розробки.

Процес передавання та приймання інформації підвищеної пропускну здатності та завадозахищеності з використанням терагерцових сигналів

## **3. СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК ЗА НАПРЯМОМ** (до 70 рядків)

3.1. Аналіз результатів, отриманих авторами проєкту за напрямом, проблемою, тематикою, об'єктом та предметом дослідження і розробки; у чому саме полягає внесок згадуваних вчених та чому їх напрацювання потребують продовження, доповнення, вдосконалення (до 20 рядків).

Терагерцові сигнали привертають дедалі більшу увагу дослідників завдяки ряду переваг перед сигналами сантиметрового діапазону радіохвиль, а їх властивості широко досліджуються закордонними й вітчизняними фахівцями. Основна проблема полягає лише в доступності пристроїв та елементної бази, здатних генерувати сигнали необхідної потужності та забезпечити високу реальну чутливість їх приймання.

Однак, у зв'язку з обмеженнями на потужність і смугу займаних частот, ці сигнали розглядаються лише з метою їх застосування в системах зв'язку із зоною дії в кілька десятків метрів з метою з'єднання комп'ютерів з периферійним устаткуванням (персональні мережі). Далекий радіозв'язок і, особливо, зв'язок у радіомережах за допомогою цих сигналів, практично не розглядається.

Колективом вчених Науково-дослідного інституту НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» успішно завершені дослідження можливостей створення вперше в Україні реальної передумови вирішення фундаментальної проблеми побудови цифрової високошвидкісної завадостійкої системи безпроводової передачі інформації з високою інформаційною ємністю з використанням терагерцових технологій. Зокрема, в рамках бюджетної програми згідно з "Переліком проєктів-переможців третього спільного конкурсу Державного фонду фундаментальних досліджень і Російського фонду фундаментальних досліджень", затвердженим наказом Державного агентства з питань науки, інновацій та інформатизації України від 30 квітня 2013 року № 110, в 2013 році виконана науково-дослідна робота (фундаментальне дослідження) «Розробка фізичних принципів створення терагерцових завадозахищених та скритних систем передавання інформації на основі хаотичних шумових сигналів» (номер державної реєстрації теми: 0113U005206).

3.2. Аналіз результатів, отриманих іншими вітчизняними та закордонними вченими (аналогічно наведеному у п.3.1); окремо проаналізувати напрацювання цих учених за останні 5 років із посиланням на конкретні публікації (до 30 рядків).

Найбільш вагомими результатами, отриманими вітчизняними вченими і технологами при вирішенні проблеми освоєння терагерцового діапазону, є наступні:

- дослідження і розробка фізико-технологічних основ напівпровідникових структур та електронних твердотільних активних приладів міліметрового діапазону хвиль – ці дослідження виконані інститутом фізики напівпровідників НАНУ у співпраці з НДІ «Оріон» та ВАТ НВП «Сатурн».

- створення теорії квазіоптичних відкритих резонаторів, призначених для розміщення в них напівпровідникових елементів, та розробка твердотільних джерел електромагнітних хвиль міліметрового діапазону з квазіоптичною коливною системою і створення на їх основі багатофункціональних квазіоптичних приладів – ці фундаментальні дослідження виконані в Інституті радіофізики і електроніки НАНУ.

Найбільш вагомими результатами, отриманими іноземними вченими, є наступні:

- створення телекомунікаційної системи в діапазоні 120 ГГц для передачі даних зі швидкістю 10 ГБіт/с на відстань до 2,5 км з використанням фотонних технологій та інтегрованого у вигляді чіпу НЕМТ транзистора з діодом ИТС, а також дослідження таких систем в діапазонах до 400 ГГц – фірма NIPPON Telegraph and Telephone (NTT), Японія.

- розробка електронної елементної бази і новітніх систем позиціонування в частотному діапазоні вище 100 ГГц, які здатні точно визначати місцезнаходження об'єкту та фотографувати землю з достатнім розширенням – Міністерство оборони США.

- розробка теоретично-технологічних основ інтегральних схем-чіпів для малошумливих підсилювачів та підсилювачів потужності в діапазоні частот до 140 ГГц – Фраунгоферівський інститут прикладної фізики, Німеччина.

- створення безпроводової лінії зв'язку в діапазоні 625 ГГц на базі технологій мікрохвильової електроніки з використанням традиційних схемотехнічних рішень на сьогоднішній день залишається поза конкуренцією з точки зору досягнутої величини робочої частоти.

Зазначений закордонний та відчизняний досвід враховується в нашій діяльності.

**Порівняно з цим досвідом, наші результати попередніх досліджень та розробок, які покладено в основу проекту, полягають в наступному:**

-виконано комп'ютерне, імітаційне та фізичне моделювання окремих функціональних елементів і вузлів передавального та приймального радіотрактів телекомунікаційної системи в терагерцовому діапазоні частот

-проведено експериментальні дослідження, випробовування елементів та лабораторного зразка телекомунікаційної системи в діапазоні частот 128-134 ГГц з використанням нових технічних рішень, захищених патентами України на винаходи

-розроблено принципи побудови ефективних методів підвищення пропускної здатності телекомунікаційних систем, що базуються на взаємодії спектрального і енергетичного ресурсів каналу зв'язку, та забезпечення на цій основі необхідної завадостійкості прийому.

Автори даного проекту зробили свій внесок у освоєння терагерцового діапазону частот (див. табл.2,3,9), розвиток ідеї, принципів і фізико-теоретичних та технологічних основ інтегральних схем-чіпів для малошумливих підсилювачів та підсилювачів потужності, розробили нові методи й пристрої для ефективного приймання цих сигналів, збільшення їх інформаційної ємності, методів кодування. Отримано ряд патентів на способи й пристрої.

3.3. Перелік основних публікацій, охоронних документів на право інтелектуальної власності та інших документів (не більше 10-ти) закордонних і вітчизняних вчених (окрім публікацій авторів, що наведені у доробку), що містять аналоги та прототипи, є основою для проекту (до 20 рядків).

Таблиця 1

№	Повні дані про статті та документи
1.	I. Kallfass, I. Dan, S. Rey, P. Harati, J. Antes, A. Tessmann, S. Wagner, M. Kuri, R. Weber, H. Massler, A. Leuther, T. Merkle, und T. Kürner, «Towards MMIC-Based 300GHz Indoor Wireless Communication Systems», IEICE Trans. Electron, Vol. E98-C, pp.1081-1090, December 2015. <a href="http://search.ieice.org/bin/pdf_link.php?fname=e98-c_12_1081&amp;lang=E&amp;abst=">http://search.ieice.org/bin/pdf_link.php?fname=e98-c_12_1081&amp;lang=E&amp;abst=</a>
2.	Alwyn J. Seeds, Haymen Shams, Martyn J. Fice and Cyril C. Renaud. TeraHertz Photonics for Wireless Communications».Journal of light technology, Vol.33, №3, pFebruary, 2015, pp.579-587. <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6892933">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6892933</a>
3.	Xianbin Yu, Borja Vidal, Michael Galili, Toshio Morioka, Peter U. Jepsen, Leif Oxenlowe. Experimental Characterization of Extremely Broadband THz Impulse Radio Communication Systems//Proceedings of the 40th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, IEEE, 2015. <a href="http://orbit.dtu.dk/files/124911969/Xianbin2015_OpenAccess.pdf">http://orbit.dtu.dk/files/124911969/Xianbin2015_OpenAccess.pdf</a>
4.	Shi Jia, Xianbin Yu, Hao Hu, Jinlong Yu, Pengyu Guan, Francesco Da Ros, Michael Galili, Toshio Morioka and Leif K. Oxenlowe THz photonic wireless links with 16-QAM modulation in the 375-450 GHz band //Optics Express, Vol.24, №21, October 2016, pp.23777-23783. <a href="https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/BEE71A9A-EF44-48B9-56FD704FD3C2E8A8_350912/oe-24-21-">https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/BEE71A9A-EF44-48B9-56FD704FD3C2E8A8_350912/oe-24-21-</a>

	<a href="#">23777.pdf?da=1&amp;id=350912&amp;seq=0&amp;mobile=no</a>
5.	Xianbin Yu, Rameez Asif, Molly Piels, Darko Zibar, Michael Galili, Toshio Morioka, Peter U. Jensen and Leif K. Oxenkowe 400-GHz Wireless Transmission of 60-Gb/s Nyquist-QPSK Signals Using UTC-PD and Heterodyne Mixer // <i>IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology</i> , Vol.6, Issue 6, November 2016, pp.765-770. <a href="http://orbit.dtu.dk/files/126227168/07556985.pdf">http://orbit.dtu.dk/files/126227168/07556985.pdf</a>
6.	K. Katayama, K. Takano, S. Amakawa, S. Hara, A. Kasamatsu, K. Mizuno, K. Takahashi, T. Yoshida, M. Fujishima A 300 GHz CMOS Transmitter With 32-QAM 17.5 Gb/s/ch Capability Over Six Channels // <i>IEEE Journal of Solid-State Circuits</i> , vol. 51, December 2016, issue 12, pp. 3037-3048 <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/7565498">https://ieeexplore.ieee.org/document/7565498</a>
7.	Nagatsuma, S. Hisatake and H. H. N. Pham. Photonics for millimeter-wave and terahertz sensing and measurement // <i>IEICE Trans. Electron.</i> , Vol. E99-C, No. 2, pp. 173-180, Feb. 2016. <a href="https://www.researchgate.net/publication/292590084_Photonics_for_Millimeter-Wave_and_Terahertz_Sensing_and_Measurement">https://www.researchgate.net/publication/292590084_Photonics_for_Millimeter-Wave_and_Terahertz_Sensing_and_Measurement</a>
8.	<u>Hadeel Elayan, Osama Amin, Basem Shihada, Raed M. Shubair, Mohamed-Slim Alouini</u> Terahertz Band: The Last Piece of RF Spectrum Puzzle for Communication Systems // <i>IEEE Open Journal of the Communications Society</i> , Vol.1, Nov.2019, pp.1-32 <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8901159">https://ieeexplore.ieee.org/document/8901159</a>
9.	Iulia Dan, Guillaume Ducournau, Shintaro Hisatake, Pascal Szriftgiser, Ralf-Peter Braun, Ingmar Kallfass. A Terahertz Wireless Communication Link Using a Superheterodyne Approach // <i>IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology</i> , Vol.10, Issue 1, Jan. 2020, pp.32-43. <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8902000/metrics#metrics">https://ieeexplore.ieee.org/document/8902000/metrics#metrics</a>

#### 4. МЕТА, ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ТА ЇХ АКТУАЛЬНІСТЬ (до 70 рядків)

##### 4.1. Ідеї та робочі гіпотези проєкту.

**Робота ґрунтується на використанні світового та вітчизняного досвіду у сфері мікрохвильових телекомунікацій та на запропонованому авторами методі формування приймально-передавального радіоканалу зв'язку в терагерцовому діапазоні частот, що забезпечить високу швидкість передачі даних при оптимальних значеннях енергетичного ресурсу лінії радіозв'язку та при практичній відсутності можливості виявлення і несанкціонованого доступу до інформації, що передається по ній. Відмінність роботи полягає у використанні терагерцового діапазона частот та у призначенні розробки. Результати роботи також можуть бути використані в телекомунікаційних системах подвійного призначення.**

Робоча гіпотеза – проектування елементів та вузлів (приймально-передавальна антена; надвисокочастотний радіоінтерфейс; мікросхема формувача; мікросхема опорного генератора; мікросхема кінцевого підсилювача; мікросхема вторинного живлення) передавального та приймального трактів діапазону з використанням технологій мікрохвильової електроніки, що дасть можливість запропонувати нові схемно-технологічні рішення створення в надвисокочастотному діапазоні високостабільного гетеродина на основі і більш високочутливих частотних перетворювачів.

Авторами роботи запропоновано спосіб проектування компактної інтегрованої лінзової приймально-передавальної антени. Такий спосіб істотно спрощує вимоги до апаратно-програмних засобів модуля.

##### 4.2. Мета і завдання, на вирішення яких спрямовано проєкт.

Метою роботи є розроблення приймально-передавального модуля терагерцового діапазону на основі використання мікроелектронної елементної бази для дистанційного

управління спеціальними об'єктами у високоточних системах наведення і керування **в інтересах національної безпеки та оборони України.**

4.3. Обґрунтування актуальності та/або доцільності виконання завдань, виходячи із стану досліджень і розробок за напрямом; ідей та робочих гіпотез проєкту.

Сучасні безпроводові телекомунікаційні системи повинні забезпечувати високі швидкості передавання інформації до абонента та між абонентами. Це можливо технічно реалізувати тільки при наданні органами радіочастотного нагляду країни операторам цих систем у користування достатньої кількості ділянок радіочастотного ресурсу, що мають досить широку смугу частот. У зв'язку з перевантаженням у більшості розвинутих країн світу ліцензійного спектру радіочастот, у телекомунікаційних операторів виникає потреба в практичному освоєнні більш високого спектру частот, що не є зайнятим, а саме неліцензійного терагерцового діапазону. Переходом в терагерцовий діапазон вирішується як питання збільшення швидкості передачі інформації за рахунок використання більш широких спектрів частот, так і питання забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, а також виключається ймовірність впливу навмисних радіозавад. Прикладом успішного практичного використання терагерцового діапазону частот для вирішення питання збільшення швидкості передавання інформації є нещодавній запуск першого в світі експериментального китайського штучного супутника землі з бортовим ретранслятором терагерцового діапазону, що призначений для тестування мереж зв'язку покоління 6G. У порівнянні з відомими методами збільшення пропускної здатності, цей спосіб є унікальним, тому що більшість сучасних методів (багатопозиційні види модуляції, завадостійке кодування та інші) мають протиріччя. Протиріччя полягає у тому, що при отриманні високих значень одних показників (наприклад, високопозиційної модуляції) погіршуються інші показники (наприклад, завадостійкість). Терагерцовий діапазон частот перспективний для створення високошвидкісних безпроводових мереж зв'язку, оскільки має низький рівень шумів та завад. Незважаючи на складності в забезпеченні надійної роботи мереж зв'язку через велике ослаблення сигналу при поширенні в атмосфері, в терагерцовому діапазоні можливо отримати смуги пропускання шириною в декілька десятків ГГц, і відповідно, досягнути високу пропускну здатність.

## **5. ПІДХІД, МЕТОДИ, ЗАСОБИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК ЗА ПРОЄКТОМ (до 50 рядків)**

5.1. Визначення підходу щодо виконання розробки, обґрунтування її новизни.

Постановка задачі

В проєкті буде використано запропонований авторами метод формування та обробки модульованих терагерцових сигналів, що забезпечить необхідну якість високошвидкісного терагерцового каналу передачі при оптимальних значеннях енергетичного ресурсу лінії радіозв'язку та при практичній відсутності можливості виявлення і несанкціонованого доступу до інформації, що передається.

У процесі розв'язання поставлених завдань будуть використані методи математичного та імітаційного комп'ютерного моделювання, теорії інформації, телекомунікацій, поширення радіохвиль, системного аналізу та мікрохвильової електроніки.

Наукова новизна одержаних результатів: **вперше буде проведено дослідження та розробку макетного зразка приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні на основі використання мікроелектронної елементної бази для дистанційного управління спеціальними об'єктами у високоточних системах наведення і керування в інтересах національної безпеки та оборони України.**

5.2. Нові або оновлені методи та засоби, методика та методологія розробок, що створюватимуться авторами у ході виконання проєкту.

Проєктування елементів та вузлів передавального та приймального трактів терагерцового діапазону з використанням технологій фотоніки та мікрохвильової

електроніки, що дасть можливість запропонувати нові схемно-технологічні рішення зі створення в терагерцовому діапазоні гетеродина на основі квазіоптичних і просторових методів підсумовування потужності і більш високочутливих частотних перетворювачів з накачуванням на основній гармоніці

### 5.3. Особливості структури та складових проведення досліджень і розробок.

Структура досліджень складається з двох етапів:

Перший етап полягає в розробленні схем, моделюванні та проектуванні макета передавального та приймального тракту приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні.

При виконанні другого етапу роботи буде розроблена ескізна конструкторська документація (ЕКД) на виготовлення малогабаритного приймально-передавального модуля радіолокатора неперервної дії.

Для вирішення завдань проєкту пропонуються:

- Нові апаратні та схемо-технічні рішення для перспективних телекомунікаційних систем та макетні зразки основних вузлів передавально-приймального тракту терагерцового діапазону.

- Побудова моделей приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні.

- Інсталяція фізичних моделей (макету приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні), проведення дослідження в усіх створених моделях, порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень, формулювання висновків.

- Принципи побудови напівпровідникових високостабільних джерел випромінювання з низькими фазовими шумами та керування амплітудою і фазою в терагерцовому діапазоні.

- Розробка структурної схеми приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні на основі використання мікроелектронної елементної бази для дистанційного управління спеціальними об'єктами у високоточних системах наведення і керування.

## 6. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЄКТУ ТА ЇХ НОВИЗНА

(до 60 рядків)

6.1. Докладно представити зміст очікуваних результатів, навести попередні описи методик суспільних практик, положень, регламентів, пристроїв, технологій, обладнання, стандартів, проєктів нормативно-правових і методичних документів, творів, що створюватимуться, змінюватимуться та/або доповнюватимуться авторами.

Основним очікуваним результатом є макетний зразок приймально-передавального модуля основі використання мікроелектронної елементної бази для дистанційного управління спеціальними об'єктами у високоточних системах наведення і керування **в інтересах національної безпеки та оборони України**, створений на запропонованому авторами методі формування та обробки модульованих терагерцових сигналів, що забезпечить необхідну якість високошвидкісного терагерцового каналу передачі при оптимальних значеннях енергетичного ресурсу лінії радіозв'язку та при практичній відсутності можливості виявлення і несанкціонованого доступу до інформації, що передається.

6.2. Показати, які з очікуваних результатів можуть бути науково обґрунтованими та доведеними, спиратимуться на закономірності (і які саме) природи, а які – корисними практико-методичними напрацюваннями.

Науково обґрунтованими та доведеними можуть бути результати, що будуть отримані при проведенні дослідження та розробці приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні на основі використання мікроелектронної елементної бази для дистанційного управління спеціальними об'єктами у високоточних системах наведення і керування.

Корисними практико-методичними напрацюваннями можуть бути:

- нові апаратні та схемо-технічні рішення для перспективних телекомунікаційних систем та макетні зразки основних вузлів передавально-приймального тракту терагерцового діапазону;
- побудовані імітаційні моделі приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні;
- інсталяції фізичних моделей (макет приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні), методики проведення дослідження основних вузлів передавально-приймального тракту;
- порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні;
- принципи побудови напівпровідникових високостабільних джерел випромінювання з низькими фазовими шумами та керування амплітудою і фазою в терагерцовому діапазоні;
- розроблена структурна схема приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні на основі використання мікроелектронної елементної бази для дистанційного управління спеціальними об'єктами у високоточних системах наведення і керування.

6.3. Довести наукову (науково-прикладну) новизну результатів розробки на основі їх змістовного порівняння із існуючими аналогами на основі посилань на конкретні публікації, охоронні та інші документи (наведені у Таблиці 4), довести переваги отриманого, над наявним.

**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 118-134 ГГц і дальністю дії до 300 метрів з вкрай малими габаритними розмірами (діаметр до 32 мм, довжиною до 40 мм). Зазначені параметри вперше будуть досягнуті в терагерцовому діапазоні частот.**

Сучасні протитанкові ракетні комплекси, що розробляються та серійно випускаються в Україні (ДП «Державне Київське конструкторське бюро «ЛУЧ»), потребують суттєвого вдосконалення шляхом застосування таких малогабаритних приймально-передавальних модулів в терагерцовому діапазоні для радіолокаторів. Відтак, результати нашого проекту мають реальну перспективу бути задіяними у розробках зазначеного ДП «Державне Київське конструкторське бюро «ЛУЧ».

## **7. ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ДЛЯ ЕКОНОМІКИ ТА СУПІЛЬСТВА**

(до 70 рядків)

7.1. Визначити та обґрунтувати використання очікуваних результатів для конкретної галузі суспільної практики, вирішення вітчизняних і світових проблем; довести відповідність потребам суспільства та економіки країни, за наявності, потребам світового ринку.

Проект спрямований на розробку і впровадження вітчизняних високоефективних мікрохвильових приймально-передавальних модулів, які можуть в майбутньому забезпечити створення компактних твердотільних радіолокаторів і стати важливою складовою часткою високоточних систем наведення, слідкування і керування.

Науково-дослідний інститут телекомунікацій НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» має досвід співпраці у створенні високотехнологічної продукції з ДП «Державне Київське конструкторське бюро «ЛУЧ», яке зацікавлено в розробці та практичному застосуванні терагерцових телекомунікаційних технологій, необхідних для створення новітніх вітчизняних радіосистем наведення для сучасного високоточного озброєння.

ДП «Державне Київське конструкторське бюро «ЛУЧ» пропонує включити роботу науково-дослідного інституту телекомунікацій НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» по розробці приймально-передавального модуля радіолокатора для високоточних систем наведення і керування – до пріоритетних технічних напрямків наукових досліджень і



науково-технічних розробок у 2021 р. за цільовою науково-технічною програмою оборонних досліджень.

ДП «Державне Київське конструкторське бюро «ЛУЧ» братиме участь у визначенні і погодженні технічних характеристик виробу, здійснюватиме дослідження технічних характеристик макетного зразка приймально-передавального модуля у складі радіолокатора неперервної дії та проводитиме стендові випробування в умовах, наближених до реальних умов експлуатації виробу.

Робота відноситься до нових технологій згідно з напрямами критичних технологій, затвердженими розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 серпня 2017 р. №600р «Деякі питання розвитку критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки», зокрема, технології створення заводо захищених та шифрованих каналів управління. Такі технології створюють передумови для подальшого розвитку висококонкурентних технологічних напрямів, мають перспективи до застосування у сфері виробництва озброєння та військової техніки і використання яких сприяє розв'язанню найважливіших технологічних проблем та реалізації пріоритетних напрямів розвитку озброєння та військової техніки.

7.2. Навести запланований перелік практичних методик, положень, регламентів, пристроїв, технологій, обладнання, стандартів, інформаційно-аналітичних матеріалів, творів, рекомендацій, пропозиції до органів влади та інших документів, що можуть бути передані потенційним замовникам для використання поза межами організації-виконавця, зокрема на договірних умовах.

Результати роботи будуть впроваджені на договірних засадах за умов збереження конфіденційності інформації та підтримки авторських прав.

Ефективність принципів побудови макету компактного приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні, що буде розроблений в даній роботі, визначається:

- суттєвим зменшенням габаритів радіолокаторів (за рахунок удосконалення структурної схеми та оптимізації її складових частин);
- забезпеченням заводо захищеності та конфіденційності передавання даних без додаткових витрат.

Застосування розробок, отриманих в процесі виконання роботи, дозволить підвищити ефективність телекомунікаційних систем, покращити їх технічні характеристики та суттєво підвищити заводо захищеність і пропускну спроможність.

7.3. Навести результати попередніх маркетингових досліджень щодо просування науково-прикладних результатів на світовий ринок, визначити потенційних замовників, навести перелік реальних майбутніх користувачів, з якими вже встановлено попередні договірні стосунки (з можливим підтвердженням листами-підтримки від потенційних замовників).

Можливими користувачами є провайдери та оператори телекомунікацій, підприємства Укроборонпрому, науково-дослідні та проектно-конструкторські організації при створенні нового покоління телекомунікаційних систем, вищі навчальні заклади при підготовці фахівців та наукових кадрів телекомунікаційного профілю.

Потенційним виробником апаратних пристроїв є науково-виробниче підприємство ВАТ «Меридіан» ім. С.П.Корольова при налагодженні виробництва розроблених передавальних та приймальних трактів терагерцового діапазону.

7.4. Обґрунтувати цінність очікуваних результатів для світової та вітчизняної науки.

**Цінність очікуваних результатів для світової та вітчизняної науки полягає в тому, що вперше буде створено макетний зразок компактного приймально-передавального модуля в терагерцовому діапазоні.**

У результаті роботи автори розраховують на одержання знань про позитивні й негативні сторони застосування модульованих терагерцових сигналів в високоточних системах наведення і керування безпроводового радіозв'язку.

Будуть запропоновані методи передачі, приймання та обробки терагерцових сигналів і області радіозв'язку, де ці сигнали мають переваги над традиційними.

7.5. Довести цінність результатів для підготовки фахівців у системі освіти, зокрема наукових кадрів вищої кваліфікації, навести ПБ та тематику робіт магістрантів, аспірантів і докторантів, що будуть брати участь у виконанні проекту з оплатою праці.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень будуть використані в навчальному процесі, в лекційному курсі і лабораторних роботах, які проводяться для студентів Національного університету України "КПІ ім. Ігоря Сікорського" за спеціальністю «172 Телекомунікації та радіотехніка» навчальних дисциплін «Телекомунікаційні безпроводові системи-1», «Передавальні та приймальні пристрої» у розроблені для практикуму лабораторній роботі «Дослідження передавання високошвидкісних надширококутєвих радіосигналів по телекомунікаційній системі радіозв'язку терагерцового діапазону».

Результати НТР будуть опубліковані в монографії «Телекомунікаційні системи терагерцового діапазону», 3-х статтях в журналах, віднесених до науково-метричних баз даних, 5-х статтях у фахових виданнях з переліку Міністерства освіти і науки України (із переліку Вищої атестаційної комісії), 3-х матеріалах міжнародних та вітчизняних конференцій, а також використані при оформленні 3-х заявок для отримання патентів України. Буде захищена кандидатська дисертація (Авдєєнко Г. Л.).

7.6. Довести, що задля одержання наведених науково-прикладних результатів варто витратити відповідні кошти державного бюджету, тобто, що економічний та соціальний ефект від впровадження результатів проекту перевищить витрати

Результати цієї роботи доповнять обсяг знань у даній області і дозволять створити системи телекомунікацій нового покоління і мати значний потенціал для подальшого розвитку високошвидкісних телекомунікаційних систем терагерцового діапазону. Соціальний ефект від впровадження проекту полягає в забезпеченні надвисокошвидкісної комунікації людини із людиною та із зовнішнім світом як необхідного елементу забезпечення базових потреб суспільства щодо охорони здоров'я, безпеки, обороноздатності, добробуту населення для сталого зростання економіки держави. В контексті відміченого не представляється зробити розрахунок економічного та соціального ефекту від впровадження результатів проекту.

## **8. ФІНАНСОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИТРАТ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРОЄКТУ**

8.1. Обсяг витрат на заробітну плату (розрахунок за кількістю працівників, залучених до виконання (загальний) - 846,56 тис.грн.

Нарахування на оплату праці - 186,24 тис.грн.

8.2. Обсяг витрат на матеріали орієнтовний розрахунок (загальний) - 244,60 тис.грн.

8.3. Обсяг витрат на енергоносії, інші комунальні послуги (за видами, на підставі порівняльного розрахунку попередніх періодів, загальний) -27,94 тис.грн.

8.4. Інші витрати (за видами, із обґрунтуванням їх необхідності, загальні) - 134,65 тис.грн.

8.5. Зведений кошторис проекту (загальний) - 1440 тис.грн.

**8.1. Обсяг витрат на заробітну плату** (розрахунок за кількістю працівників, залучених до виконання, загальний та по роках). Необхідний для виконання роботи штат передбачає постійну участь в роботі наступних фахівців з місячним фондом зарплати:

**Категорія персоналу, науковий ступінь: (кількість одиниць, середня з/п за місяць)**

1 од.- провідний науковий співробітник, к.т.н., 1 ставки з окладом 12683,00 грн.;

1 од.-провідний інженер, 0,5 ставки з окладом 5116,00 грн.;

1 од.-головний науковий співробітник, д.т.н., 0,5 ставки з окладом 6341,50 грн.;

1 од.- провідний інженер, 1 ставка з окладом 10232,00 грн.;

1 од. - лаборант, 0,5 ставки з окладом 2684,50 грн.;

Сумарні витрати на оплату праці при виконанні проєкту складуть:

Всього – 846,56 тис. грн.,

у тому числі:

2021 рік – 411,33 тис. грн.,

2022 рік – 435,23 тис. грн.,

**Нарахування на оплату праці:**

Всього – 186,24 тис. грн.,

у тому числі:

2021 рік – 90,49 тис. грн.,

2022 рік – 95,75 тис. грн.,

**8.2 Обсяг витрат на предмети, матеріали, обладнання та інвентар:**

орієнтовний розрахунок (загальний та по роках). Для забезпечення роботи в рамках проєкту необхідно придбання витратних матеріалів (паперу, канцтоварів, картриджу, комплектуючих до комп'ютеру) та корпусу блока з вмонтованими рознімами та чіпами на суму

Всього – 244,60 тис. грн.,

у тому числі:

2021 рік – 138,47 тис. грн.,

2022 рік – 106,13 тис. грн.,

**8.3 Обсяг витрат на оплату комунальних послуг та енергоносіїв, (Підстава: наказ КПП ім. Ігоря Сікорського від 07.04.2017 р. №1-125).**

За період виконання проєкту планова сума витрат на оплату комунальних послуг та енергоносіїв складе

Всього – 27,94 тис. грн.,

у тому числі:

2021 рік – 13,58 тис. грн.,

2022 рік – 14,36 тис. грн.,

**8.4. Інші витрати (за видами, із обґрунтуванням їх необхідності, загальні та по роках):**

**Витрати на публікації** у виданнях (вказати видання, що індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science).

Всього – 50,0 тис. грн.

у тому числі:

2021 рік – 25,0 тис. грн.,

2022 рік – 25,0 тис. грн.,

**Непрямі витрати** (Накладні витрати університету - 10% від фонду заробітної плати основних виконавців проєкту, наказ НТУУ «КПІ» від 19.07.13 р. № 4-355).

Всього – 84,66 тис. грн.

у тому числі:

2021 рік – 41,13 тис. грн.,

2022 рік – 43,53 тис. грн.

**8.5. Зведений кошторис проєкту**

**Загальний та по роках:** 1440,0 тис. грн.,

2021 рік - 720,00 тис. грн.,

2022 рік – 720,00 тис. грн.

**9. НАУКОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОРІВ ПРОЄКТУ**

9.1. Наритник Теодор Миколайович, h-індекс: 6; кількість цитувань: 95 (Scopus); <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6507483403>

сумарний h-індекс: 13; сумарна кількість цитувань: 305 (Scopus)

9.2. Ільченко Михайло Юхимович, h-індекс: 11 ; кількість цитувань: 294 (Scopus);

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55405562100>

9.3 Авдєєнко Гліб Леонідович, h-індекс: 2; кількість цитувань: 11 (Scopus)

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=15768853200>

## 10. НАУКОВІ ДОРОБКИ ТА ДОСВІД АВТОРІВ ЗА НАПРЯМОМ ПРОЄКТУ

(за попередні 5 років (включно з роком подання запиту))

10.1. Перелік опублікованих статей у наукових журналах, збірниках наукових праць, матеріалах конференції тощо, що входять до науково-метричних баз даних WoS та/або Scopus (в тому числі у наукових фахових журналах України, що відносяться до категорії «А»)

Таблиця 2

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; <u>обрати прізвища авторів</u> , які належать до списку авторів, індекс SNIP видань (Source Normalized Impact Per Paper)	Наукометр. бази даних	Індекс SNIP
1	>Ільченко М.Е.<, >Нарытнік Т.Н.<, Радзиховский В.Н., Кузьмин С.Е., Лутчак А.В Проектирование передающего и приемного радиотрактов радиорелейных систем терагерцового диапазона //Электросвязь.-№2.-2016.-С.42-49. <a href="http://www.mitris.com/index.php?p=product_evrika-tvc">http://www.mitris.com/index.php?p=product_evrika-tvc</a>	Scopus	0,423
2	A. Zakharov, S. Rozenko, S. Litvintsev, and >М. Ilchenko<," Trisection Bandpass Filters with All Mixed Couplings," IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett.,2019. vol. 29, no. 9, pp. 592-594. DOI: 10.1109/LMWC.2019.2929650	Scopus	1,887
3	A. Zakharov, S. Rozenko, and >М. Ilchenko<," Varactor-tuned microstrip bandpass filter with loop hairpin and combline resonators," IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs,2019. vol. 66, no.6, pp.953-957.DOI: 10.1109/LMWC.2019.2929650.	Scopus	1,887
4	A. Zakharov, >М. Ilchenko.< Trisection Microstrip Delay Line Filter With Mixed Cross-Coupling. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2017. Vol. 27, No. 12, pp. 1083-1085. DOI: 10.1109/LMWC.2017.2759724.	Scopus	1,887
5	A. Zakharov, S. Rozenko and >М. Ilchenko< "Two types of trisection bandpass filters with mixed cross-coupling" IEEE Microwave and Wireless Components Letters. Date of publication June 4, 2018. DOI: 10.1109/LMWC.2018.2837905.	Scopus	1,887
6	A.V. Zakharov, >М.Е. Il'chenko<, I.V. Trubarov. Planar Three-Resonator Bandpass Filters with Cross Coupling. Journal of Communications Technology and Electronics, 2017, Vol. 62, No. 2, pp. 185–193 DOI: 10.1134/S1064226917020127.	Scopus	0,711
7	Zakharov, S. Litvintsev, and >М. Ilchenko<. "Transmission Line Tunable Resonators with Intersecting Resonance Regions", IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs. Published June 12, 2019. DOI: 10.1109/TCSII.2019.2922429 <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8735816">https://ieeexplore.ieee.org/document/8735816</a>	Scopus	0,711
8	>Т.М. Нарытнік<, V. Saiko, O. I. Bilous, A.I. Fisun Energy calculation of the terahertz radio link // Telecommunications and Radio Engineering Vol. 78, 2019, Number 6.-pp.537-557. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v78.i6.60. <a href="http://www.dl.begellhouse.com/en/journals/0632a9d54950b268,4f0910e83d5aeda3,69a1a6bc3b314e9d.html?sgstd=1">http://www.dl.begellhouse.com/en/journals/0632a9d54950b268,4f0910e83d5aeda3,69a1a6bc3b314e9d.html?sgstd=1</a>	Scopus	0,440

9.	> <u>T. M. Narytnyk</u> <, > <u>G.L. Avdeyenko</u> <, V.I.Korsun, V.G. Sayko. Simulation of a terahertz band wireless telecommunication system based on the use of IR-UWB signals //Telecommunications and Radio Engineering.-Vol.78.- 2019.- Number 10.- pp. 901-919. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v78.i10.50. <a href="http://www.dl.begellhouse.com/ru/journals/0632a9d54950b268,50a6c25612755a60,046897e310f44bf0.html">http://www.dl.begellhouse.com/ru/journals/0632a9d54950b268,50a6c25612755a60,046897e310f44bf0.html</a>	Scopus	0,440
10.	> <u>T.M. Narytnyk</u> < Principles of development of the terahertz band telecommunication system based on the technology of harmonic signal as the information carrier// Telecommunications and Radio Engineering, Vol.77(16):1423-1440(2018).-DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i16.30. <a href="http://dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,0caa0ce241c86095,22ddd6f33daeeb42.html">http://dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,0caa0ce241c86095,22ddd6f33daeeb42.html</a>	Scopus	0,440
11.	> <u>T.M. Narytnyk</u> <, A. T. Orlov, I. K. Kuzmichev, V.I.Korsun, S.O. Perepelitsyn Design and modeling of band-pass filters on coaxial resonators for the cellular communication systems //Telecommunications and Radio Engineering. - Vol.79.- 2020- Number 13. – pp.1121-1127 DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i10.50 <a href="http://www.dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,4b2d9da565665b61,135034376b995bc8.html">http://www.dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,4b2d9da565665b61,135034376b995bc8.html</a>	Scopus	0,440

Переклад анотацій статей українською мовою навести у Додатку 1

10.2. Перелік опублікованих статей у наукових фахових журналах України, що відносяться до категорії «Б», статті у закордонних наукових виданнях, що не оцінені за п. 10.1.

Таблиця 3

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; <u>позначити прізвища авторів, які належать до списку авторів проекту</u>
1.	> <u>M.Ye. Ilchenko</u> <, > <u>Narytnik T.N.</u> < В.М. Radzikhovsky, S.E. Kuzmin, O.V. Lutchak. Development of the Transmitting and Receiving Channels for Terahertz Band Relay Systems// Telecommunications and Radio Engineering Vol. 74, 2015, Number 11, pp.13-998.- DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v74.i11.30 <a href="http://www.dl.begellhouse.com/en/journals/0632a9d54950b268,7d1efd50245bb694,2d7e62e457ab16bd.html">http://www.dl.begellhouse.com/en/journals/0632a9d54950b268,7d1efd50245bb694,2d7e62e457ab16bd.html</a>
2.	> <u>T.M. Narytnyk</u> <, > <u>G. L. Avdeyenko</u> < Investigation and modeling of transmission of the DVB-C standard television signals and the pulse ultra-wideband signal via the terahertz band radio link// Telecommunications and Radio Engineering, 77(17):1517-1533 (2018). DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i17.30 <a href="http://www.dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,4a3ae17f3375e58e,7c284bf72c15c1cf.html">http://www.dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,4a3ae17f3375e58e,7c284bf72c15c1cf.html</a>
3.	> <u>Наритник Т.М.</u> <, > <u>Авдєєнко Г.Л.</u> <, Набока Б.Ю., Дослідження багатоканальних сигналів цифрового телебачення DVB – С при їх передаванні по приймально-передавальному тракту терагерцового діапазону.// Цифрові технології. – 2016. - № 19. с.26-33. <a href="https://ojs.onat.edu.ua/index.php/digitech/article/view/960/935">https://ojs.onat.edu.ua/index.php/digitech/article/view/960/935</a>
4.	> <u>Авдєєнко Г. Л.</u> <, > <u>Льченко М.Ю.</u> <, > <u>Наритник Т.М.</u> <, Єрмаков А.В., Лутчак О.В. Перетворювач частоти для прийомопередавача безпроводової телекомунікаційної системи фіксованого зв'язку терагерцового діапазону // Електронне наукове фахове видання – Журнал «Проблеми телекомунікацій».-Харків.-2017.-№1(20).-С.38-49. <a href="http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/171_avdeyenko_converter.pdf">http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/171_avdeyenko_converter.pdf</a>

5.	> <u>Ильченко М.Е.</u> <, Денбновецкий С.В., > <u>Нарытник Т.Н.</u> <, Лутчак А.В., Май А.В. Проектирование интегрального приемника терагерцового диапазона частот. Электронне наукове фахове видання –Журнал «Проблеми телекомунікацій».-Харків.-2017.-№1(20).-С.57-63. <a href="http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/171_ilchenko_design.pdf">http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/171_ilchenko_design.pdf</a>
6.	> <u>Ильченко М.Ю.</u> <, > <u>Наритник Т. М.</u> <, Радзіховський В.М., Кузьмін С.Є., <u>Лутчак О.В.</u> Передавальний та приймальний радіотракти радіорелейних систем терагерцового діапазону //Цифрові технології . – 2015. – Вип. 17. – С.16-29. <a href="http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&amp;P21DBN=UJRN&amp;Z21ID=&amp;S21REF=10&amp;S21CNR=20&amp;S21STN=1&amp;S21FMT=ASP_met a&amp;C21COM=S&amp;2_S21P03=FILE=&amp;2_S21STR=ct_2015_17_4">http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&amp;P21DBN=UJRN&amp;Z21ID=&amp;S21REF=10&amp;S21CNR=20&amp;S21STN=1&amp;S21FMT=ASP_met a&amp;C21COM=S&amp;2_S21P03=FILE=&amp;2_S21STR=ct_2015_17_4</a>
7.	> <u>M. Ilchenko</u> <, S. Denbnovetsky, > <u>T. Narytnyk</u> <, O. Lutchak, O. May, A. Fisun, O. Bilous. Design of the 290...310 GHz frequency range integral receiver Telecommunications and Radio Engineering.-Vol.76.- 2017.- Number 15.- pp.1379-1390. <a href="http://www.dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,1f43616b7efabdfd,29abaa0a70f22645.html">http://www.dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,1f43616b7efabdfd,29abaa0a70f22645.html</a>

Переклад анотацій статей українською мовою навести у Додатку 2

10.3. Перелік монографії (розділів монографії) за напрямом проєкту, виданих офіційними мовами Європейського Союзу в провідних міжнародних видавництвах (перелік видавництв затверджених цим наказом, враховуються друковані аркуші тільки авторського внеску).

Таблиця 4

№	Повні дані про монографії (розділи монографій); <u>позначити прізвища авторів</u> , які належать до списку авторів проєкту	Кількість друк. арк.
1.	> <u>T. Narytnyk</u> <, S. Kapshtyk. Prospects for the Development of Geostationary Satellite Communications Systems in the World// Lecture Notes in Electrical Engineering, 2019, Vol.560, pp. 146-166.	1

Переклад анотацій монографій (розділів монографії) українською мовою навести у Додатку 3

10.4. Перелік монографії (розділів монографій) за напрямом проєкту, що не оцінені за п.10.3 (враховуються друковані аркуші тільки авторського внеску)

Таблиця 5

№	Повні дані про монографії (розділи монографій); <u>позначити прізвища авторів</u> , які належать до списку авторів проєкту	Кількість друк. арк.
1.	> <u>Наритник Т.Н.</u> <, Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи терагерцового діапазону Монографія.-Житомир.- :ФОП «Євенок О.О.».-2015.-394с.	16
2.	> <u>Наритник Т.Н.</u> < Безпроводові системи зв'язку терагерцового діапазону Наритник Т.М., Сайко В.Г.//Книга.-International Book Market Service Ltd –LAP LAMBERT Academic Publishing .-2019.-68р.	3
3.	> <u>Наритник Т.Н.</u> < Цифрові радіорелейні та тропосферні лінії зв'язку (основи розрахунку). Наритник Т. М., Почерняєв В. М., Повхліб В. С.// Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 166с.	7

Переклад анотацій монографій (розділів монографії) українською мовою навести у Додатку 4

10.5. Захищені дисертації доктора філософії (кандидата наук) авторами проекту або під керівництвом авторів проекту

Таблиця 6

№	Дані про дисертації (автор, назва дисертації, спеціальність, науковий керівник, рік та місце захисту); <u>позначити прізвища авторів/керівників</u> , які належать до списку авторів проекту
1.	>Авдеєнко Г. Л.<. «Методи просторової обробки сигналів в радіотехнічних системах при прийманні електромагнітних хвиль зі сферичними фазовими фронтами», спеціальність 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи, науковий керівник к.т.н., проф. Якорнов Є. А. Рекомендована до захисту в 2020/2021р.

10.6. Захищені дисертації доктора наук авторами проекту або під консультуванням авторів проекту

Таблиця 7

№	Дані про дисертації (автор, назва дисертації, спеціальність, науковий консультант, рік та місце захисту); <u>позначити прізвища авторів/консультантів</u> , які належать до списку авторів проекту
1.	Уривський Л. О. «Основи прикладної теорії інформації для телекомунікацій», спеціальність 05.12.02, науковий консультант д.т.н, проф. >Льченко М. Ю.<, захист – 2009 р. в НТУУ «КПІ».

10.7. Перелік загальноуніверситетських наукових грантів, за якими працювали автори проекту, що фінансувались закордонними організаціями.

Таблиця 8

№	ПІБ виконавців	Назва гранту	Замовник	Фінансування, тис. грн.
1	Авдеєнко Г.Л.	Проект SPS 985217 «Розробка системи розпізнавання мін та саморобних вибухових пристроїв на основі над широкосмугових технологій»	Норвезький університет науки і технологій (за програмою науки і озброєнь НАТО)	471,5

10.8. Авторами проекту виконано договорів з наукової тематики, що фінансуються із спеціального фонду на суму (тис. грн.) (з відповідним підтвердженням довідкою з бухгалтерії закладу/установи)

Таблиця 9

	П.І.Б. виконавців	Назва роботи	Замовник	Обсяг фінансування, тис. грн
1	Льченко М.Ю.	Договір №ДЗ/40-2015 від 30.10.15р. «Розроблення портативної тропосферної радіорелейної станції зв'язку»	МОН України	1620,0
2	Авдеєнко Г.Л.	Проект SPS 985217 «Розробка системи розпізнавання мін та саморобних вибухових пристроїв на основі	Норвезький університет науки і	471,5

		надширококутних технологій»	технологій (за програмою науки і озброєнь НАТО)	
3	Ільченко М.Ю.	Договір № Н/12-2017 від 25.10.17р. «Розроблення та оптимізація архітектурних рішень фізичної інфраструктури сховища антарктичних даних як складової гетерогенного середовища зберігання результатів антарктичних досліджень»	Державна установа Національний антарктичний науковий центр МОН України	350,0
4	Ільченко М.Ю.	Договір № АСА17USE636 «Проведення технічної експертизи плану конверсії смуг радіочастот 1710-1785 МГц та 1805-1880 МГц для впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління (LTE) в Україні.»	ТОВ «Лайфселл «	20,0
5	Ільченко М.Ю.	Договір №ДЗ/9-2017 від 14.11.2017р. «Розроблення комплексу приймально-передавального і модемного обладнання для модернізації тропосферної станції»	МОН України	3500,0
6	Ільченко М.Ю. Авдєєнко Г.Л.	Договір №ДЗ/33-2017 від 04.12.17р. «Розроблення дослідного зразка терміналу супутникового зв'язку для експлуатації у складних кліматичних та метеорологічних умовах»	МОН України	2361,0

10.9. Перелік отриманих охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (ОПІВ)

Таблиця 10

№	Повні дані про охоронні документи на ОПІВ з веб-адресою електронної версії; позначити прізвища авторів, які належать до списку авторів проекту
1	Мікрохвильова інформаційна система надання послуг передачі даних із використанням терагерцового діапазону. Патент України на корисну модель №97537, дата публікації 25.03.2015р., Бюл.№6 з пріоритетом від 22.08.2014р. Автори: >Ільченко М.Ю.<, >Наритник Т.М.<, Казіміренко В.Я.
2	Канал безпроводового ширококутового абонентського доступу до інформаційних ресурсів в терагерцовому діапазоні. Патент України на корисну модель №104299, дата публікації 25.01.2016р., Бюл. №2 з пріоритетом від 25.06.2015р. Автори: Казіміренко В.Я., Коритова О.А., Сайко В.Г., >НаритникТ. М.<, Лутчак О.В.
3	Лінія зв'язку терагерцового діапазону. Патент України на корисну модель №116168, дата публікації 10.05.2017р.. Бюл.№9 з пріоритетом від 25.11.2016. Автори: >Ільченко М.Ю.<, >Наритник Т.М.<, Лутчак О.В., Денбновецький С.В., Май О.В.
4	Технічні рішення використання Wi-Fi в телекомунікаційних системах терагерцового діапазону. Свідоцтво про авторське право на твір №73430 від 17.08.2017 р. Автори: >Наритник Т.М.<, Єрмаков А.В., Павленко В.В., >Авдєєнко Г.Л.<, Новогрудська Р.Л.



5	Лінія зв'язку терагерцового діапазону. Патент України на корисну модель №116168, дата публікації 10.05.2017р.. Бюл.№9 з пріоритетом від 25.11.2016/ >Льченко М.Ю.<, >Наритник Т.М.<,Лутчак О.В., Денбновецький С.В., Май О.В.
6	Приймальний пристрій імпульсних надширококутних сигналів з підвищеною завадостійкістю. Патент України на корисну модель №136467, дата публікації 27.08.2019 р.-Бюл.№16 з пріоритетом від 24.01.2019/>Льченко М.Ю.<, >Наритник Т.М.<, Сайко В.Г., >Авдєєнко Г.Л.<, Корсун В.І.
7	Канал міжспутникового зв'язку в терагерцовому діапазоні. Заявка на патент України на корисну модель №U201903113, дата реєстрації 29.03.2019/>Наритник Т.М.<
8	Електромагнітна випромінююча система субтерагерцового діапазону. Заявка на патент України на корисну модель №U201905644, дата реєстрації 24.05.2019/>Льченко М.Ю.<, Корсун В.І, >Наритник Т.М.<, Сайко В.Г
9	Спосіб захисту зон і об'єктів від несанкціонованого проникнення за допомогою сфокусованого випромінювання субтерагерцового діапазону. Заявка на патент України на корисну модель №U201905643, дата реєстрації 24.05.2019/ Корсун В.Г, >Наритник Т.М.<, Сайко В.Г., Голенковська Т.І., Зубарєв О.В

10.10. Наявність матеріально-технічної бази, яка буде використана для виконання проєкту (Центри колективного користування науковим обладнанням (ЦККНО), державні ключові лабораторії, наукові об'єкти, що становлять національне надбання).

Таблиця 11

№	Назва об'єкту	Назва документу, що свідчить про надання об'єкту відповідного статусу, та його реєстраційні дані
1	Лабораторія телекомунікаційних технологій і засобів	

10.11. Наявність у авторів проєкту нагород: державних премій України в галузі науки і техніки, освіти та інші, премій Кабінету Міністрів України за розроблення і впровадження інноваційних технологій, премій Президента України та премій Верховної Ради України для молодих вчених (без строку давності).

Таблиця 12

№	П.І.Б. лауреата	Вид премії	Вид документу, що свідчить про присудження премії, та його реєстраційні дані
1	Льченко Михайло Юхимович Наритник Теодор Миколайович	Державні премії України в галузі науки і техніки  Державна премія УРСР в галузі науки і техніки  Державна премія СРСР в галузі науки і техніки	Указ Президента України про присудження державних премій України в галузі науки і техніки від 09.12.2004,№1458 Указ Президента України про присудження державних премій України в галузі науки і техніки від 20.12.1995,№1173/95 Постанова Центрального комітету компартії України і Ради Міністрів Української РСР від 13 грудня 1983 року, №2023 Постанова Центрального Комітету КПРС і Ради Міністрів СРСР від 31 жовтня 1989 року №22301

## 11. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЗА ТЕМАТИКОЮ ПРОЄКТУ

Таблиця 13

№	Назви показників очікуваних результатів	Кількість
1.	Макетний зразок приймально-передавального модуля терагерцового діапазону для високоточних систем наведення і керування з дальністю дії до 300 м	1
2.	Будуть опубліковані за темою проєкту статті у журналах, що входять до науково-метричних баз даних WoS та/або Scopus з індексом SNIP $\geq 0,4$ (Source Normalized Impact Per Paper) (для соціо-гуманітарних наук з індексом SNIP>0)	3
3.	Будуть опубліковані за темою проєкту статті у журналах, що входять до переліку фахових видань України та мають ISSN, статті у закордонних журналах, що не увійшли до п. 1, а також англomовні тези доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються науково-метричними базами даних WoS або Scopus (Index Copernicus для соціо-гуманітарних наук)	5
4.	Монографії, або розділи в монографіях, що будуть опубліковані за темою проєкту у закордонних виданнях офіційними мовами Європейського Союзу (друкованих аркушів)	2
5.	Монографії, що будуть опубліковані за темою проєкту мовами, які не відносяться до мов Європейського Союзу (друкованих аркушів)	-
6.	Буде захищено дисертації кандидата наук (доктора філософії) та доктора наук виконавцями за темою проєкту	1
7.	Будуть отримані охоронні документи за темою проєкту на об'єкти права інтелектуальної власності України або інших країн	3
8.	Буде впроваджено наукові або науково-практичні результати проєкту шляхом укладання господарчих договорів (у т.ч. на розробку ТУ, ДСТУ, технологічних регламентів (умов), будівельних норм, зареєстрованих проєктів законодавчих нормативних актів), продажу ліцензій або «ноу-хау», грантових угод поза межами організації-виконавця	1

## 12. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ПРОЄКТУ

Таблиця 14

Етапи роботи	Назва та зміст етапу	Обсяг фінансування (тис.грн)	Очікувані результати етапу (зазначити конкретні наукові результати та наукову і науково-технічну продукцію). Звітна документація (зазначити кількість запланованих публікацій, захистів магістерських, кандидатських та докторських дисертацій, отримання охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності).
1 етап (2021 рік)	Розроблення схем компактного приймально-передавального модуля для радіолокаційного підривача в надвисокочастотному радіодіапазоні. Комп'ютерне, імітаційне та фізичне моделювання окремих	720	Схеми передавального та приймального трактів приймально-передавального модуля для радіолокаційного підривача в надвисокочастотному радіодіапазоні з результатами комп'ютерного, імітаційного та

	функціональних елементів і вузлів передавального та приймального радіо трактів. Проектування елементів та вузлів передавального та приймального трактів з використанням технологій мікрохвильової мікроелектроніки, що дасть можливість запропонувати нові схемно-технологічні рішення створення в надвисокочастотному радіодіапазоні суттєво зменшити масу і габарити виробу компактного приймально-передавального модуля та забезпечити заводо захищеність проти несанкціонованого підриву противником на траєкторії польоту ракети.		фізичного моделювання окремих функціональних елементів і вузлів Опубліковано 4 публікації. Заявлено 2 патенти.
2 етап (2022 рік)	Розроблення ескізної конструкторської документації (ЕКД) на виготовлення малогабаритного приймально-передавального модуля радіолокатора. Інсталяція фізичних моделей (макету приймально-передавального модуля в надвисокочастотному радіодіапазоні), проведення дослідження в створених моделях, проведення стендових випробувань, порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень, формулювання висновків.	720	Ескізна конструкторська документація(ЕКД) на виготовлення малогабаритного приймально-передавального модуля радіолокатора. Протоколи стендових випробувань. Звіт про виконання наукового проєкту Опубліковано 5 публікацій. Захищено одну кандидатську дисертацію. Заявлено 2 патенти на винаходи.
		1440 тис.грн.	

### 13. ВИКОНАВЦІ ПРОЄКТУ (з оплатою в межах запиту):

- доктори наук: 1 кандидати наук: 1;
- молоді вчені до 35 років 1, з них кандидатів -, докторів -;
- наукові працівники без ступеня 1;
- інженер-технік: \_\_\_\_\_, допоміжний персонал 1;
- докторанти: \_\_\_\_\_; аспіранти: \_\_\_\_\_; студенти \_\_\_\_\_.

Р а з о м : 5

**Основні виконавці (автори) проєкту\*** (з оплатою в межах запиту)

№ з/п	Прізвище, ім'я, по батькові	Науковий ступінь	Вчене звання	Посада і місце основної роботи (Тел.та E-mail)	Вік та дата народження
1	Наритник Теодор Миколайович	к.т.н.	-	Директор інституту електроніки та зв'язку Української академії наук (044) 407-65-47 director@mitris.com	1.07. 1946
2	Ільченко Михайло Юхимович	д.т.н.	проф.	Директор ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (044) 236-62-23 <a href="mailto:golovavr@kpi.ua">golovavr@kpi.ua</a>	13.09.1941
3.	Авдєєнко Гліб Леонідович	-	-	Старший викладач ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (097) 527-24-35 <a href="mailto:django2006@ukr.net">django2006@ukr.net</a>	26.02.1982

\*вносяться дані про основних виконавців (авторів) (до 6 осіб), окрім допоміжного персоналу та студентів.

До складу основних виконавців (авторів) проєкту може входити за необхідності не більше 30 % (2 особи) дослідників, що працюють за основним місцем роботи в інших організаціях (з відповідним обґрунтуванням необхідності їх залучення до виконання проєкту або досвідом попередньої співпраці – спільні проєкти, публікації).

До запиту додається письмова згода основних виконавців (авторів) проєкту щодо участі в ньому.

**Додаток 1.** Анотації українською мовою статей, що наведені у Таблиці 2

№ з/п	Назви статей та їх анотації
1	<u>Ільченко М.Е., Нарытник Т.Н., Радзиховский В.Н., Кузьмин С.Е., Лутчак А.В</u> Проектирование передающего и приемного радиотрактов радиорелейных систем терагерцового диапазона //Электросвязь.-№2.-2016.-С.42-49. <a href="http://www.mitris.com/index.php?p=product_evrika-tvc">http://www.mitris.com/index.php?p=product_evrika-tvc</a> Розроблена базова конструкція інтегрального приймача діапазону 290-310 ГГц на базі перетворювача частоти на металодіелектричному хвилеводі (10×10 мм), що складається з квазіоптичного відкритого резонатора, надрозмірних прямокутних металевих і металодіелектричних хвилеводів і мікроскладення з нелінійними елементами, який дозволяє реалізувати широкі смуги робочих частот (20 ГГц і більше). Введення в гетеродин квазіоптичного відкритого резонатора, що володіє селективними властивостями і просторовим складанням потужності, дозволяє досягти необхідного рівня потужності (5-10дБм) гетеродина перетворювача частоти.
2	A. Zakharov, S. Rozenko, S. Litvintsev, and <u>M. Ilchenko</u> , "Trisection Bandpass Filters with All Mixed Couplings," IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett.,2019. vol. 29, no. 9, pp. 592-594. DOI: 10.1109/LMWC.2019.2929650

	<p>Розглядаються нові закономірності смуго-проникних фільтрів (ППФ) третього порядку двох типів зі всіма змішаними зв'язками між резонаторами. Розглянуто умова, при виконанні якого фільтр першого типу, з центральним резонатором відбиваючого типу, стає фільтром затримки, а фільтр другого типу, з центральним резонатором прохідного типу, стає квазі-еліптичним фільтром. При виконанні цієї умови два нулі передачі обох типів фільтрів розташовуються на комплексній площині <math>s = \sigma + j\Omega</math> еквідистантно щодо <math>s=0</math>. Запропоновано два дуже компактних мікросмугових ППФ двох типів.</p>
3	<p>A. Zakharov, S. Rozenko, and M. Ilchenko, "Varactor-tuned microstrip bandpass filter with loop hairpin and combline resonators," IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs, 2019. vol. 66, no.6, pp.953-957. DOI: 10.1109/LMWC.2019.2929650.</p> <p>Показано, що в мікросмуговому перебудованому мікрохвильовому фільтрі четвертого порядку заміна двох серединних резонаторів на петльові шпилькові резонатори з конденсаторами покращує симетрію частотного відгуку під час збереженні відношення <math>f_1/f_0</math>. Частоти <math>f_1</math> і <math>f_0</math> є центральними частотами першої паразитної і основної смуги пропускання. Вони визначають смугу загородження фільтра і пов'язані з відповідними резонансними частотами резонаторів. Отримано рівняння резонансу для непарних резонансних частот в П-образному петльовому резонаторі. Рівняння показало, що ці частоти не залежать від значення ємності і фіксовані. Представлені як симульовані, так і виміряні результати.</p>
4	<p>A. Zakharov, M. Ilchenko. Trisection Microstrip Delay Line Filter With Mixed Cross-Coupling. IEEE Microwave and wireless components letters, Vol. 27, No. 12, December 2017. pp. 1083-1085. DOI: 10.1109/LMWC.2017.2759724</p> <p>Встановлено, що трирезонаторний смуго-пропускний filter with mixed cross - coupling <math>K_{13}</math> має постійне час затримки за умови <math>K_{13}=0</math>, яке еквівалентно рівності магнітної <math>K_m</math> та електричної <math> K_e </math> компонент зв'язку. Показано, що час затримки фільтра збільшується при збільшенні значень <math>K_m= K_e </math>. Запропонована мікросмужкова конструкція, в якій реалізується трирезонаторний фільтр затримки. Проведено аналіз цієї конструкції, який дозволяє управляти значеннями <math>K_m= K_e </math> в нулі перехресного зв'язку. Вимірюються та моделюються результати.</p>
5	<p>A. Zakharov, S. Rozenko and M. Ilchenko. Two types of trisection bandpass filters with mixed cross-coupling. IEEE Microwave and Wireless Components Letters. Date of publication June 4, 2018. DOI: 10.1109/LMWC.2018.2837905.</p> <p>Проведено порівняльний аналіз двох видів трисекційних смуго-пропускаючих фільтрів (СПФ) зі змішаним перехресним зв'язком. Показано, що в трисекційних СПФ першого виду з середнім резонатором відбивного типу змішаний перехресний зв'язок приводить до зникнення нуля передачі. В трисекційних СПФ другого виду із середнім резонатором прохідного типу змішаний перехресний зв'язок приводить до двох нулів передачі. Встановлено умову, при якій ці нулі передачі розташовуються еквідистантно відносно центральної частоти смуги пропускання <math>f_0</math>. Отримано вираз, який визначає частотний інтервал між нулями передачі і <math>f_0</math>. Наводяться результати вимірювань і моделювання.</p>
6	<p>A.V. Zakharov, M.E. Il'chenko, I.V. Trubarov. Planar Three-Resonator Bandpass Filters with Cross Coupling. Journal of Communications Technology and Electronics, 2017, Vol. 62, No. 2, pp. 185–193 DOI: <a href="https://doi.org/10.1134/S1064226917020127">10.1134/S1064226917020127</a>.</p> <p>Розглянуто нові конструкції планарних трирезонаторних смуго-пропускаючих фільтрів з перехресним зв'язком, що мають велике різноманіття частотних характеристик. Крім поліпшеної односторонньої вибіркової в таких фільтрах реалізуються симетричні амплітудно-частотні характеристики з полюсом загасання на кожній зі сторін смуги пропускання. Ці фільтри також можуть мати постійне час затримки в смузі пропускання. Каскадування запропонованих трирезонаторних</p>

	<p>фільтрів призводить до багаторезонаторних фільтрів з високою вибірковістю, обумовленої двома полюсами загасання на кожній зі сторін смуги пропускання. Встановлено, що характер включення середнього резонатора в схему трирезонаторного фільтра з перехресним зв'язком призводить до істотних відмінностей в амплітудно-частотних характеристиках. Наведено результати моделювання різних частотних характеристик. Показано, що фільтри мають малі розміри, співмірні з габаритами мікрохвильових керамічних фільтрів (Microwave Ceramics Filters). Так, на частоті 1.9 ГГц розмір трирезонаторного фільтра смужкової конструкції склав <math>9,4 \times 5 \times 2</math> мм при діелектричній проникності матеріалу <math>\epsilon_r = 92</math>, а 6-резонаторного фільтра — <math>10 \times 9,4 \times 2</math> мм.</p>
7	<p>Zakharov, S. Litvintsev, and <u>M. Ilchenko</u>, “Transmission Line Tunable Resonators with Intersecting Resonance Regions”, IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs. Published June 12, 2019. DOI: 10.1109/TCSII.2019.2922429  <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8735816">https://ieeexplore.ieee.org/document/8735816</a></p> <p>Спостерігається нова властивість регульованих розподілених розподілених ланцюгів, а саме ефект перетину резонансних областей двох резонаторів зі змінними конденсаторами. Як відомо, резонансні ділянки широко використовуваних резонаторів з варакторами відокремлені між собою частотними інтервалами. Побудова запропонованих резонаторів базується на резонансних рівняннях. Один резонатор - це петльовий шпильковий ступінчастий резонатор з одним конденсатором. У цьому резонаторі реалізується керований режим двомодових коливань, коли парні та непарні режими коливань можуть змінювати місця. Для цього використовується лише один змінний конденсатор. Інший резонатор - це симетричний резонатор ступінчастого опору з двома конденсаторами на кінцях. Його резонансні області для кількох коливань із частотами <math>f_0, f_1, f_2</math> перетинаються одна з одною. Цей ефект дозволяє налаштувати в дуже широкому частотному діапазоні з одночасним використанням цих коливань. Представлені результати вимірювань та моделювання для настроюваного мікросмугового двомодового фільтра з одним конденсатором.</p>
8	<p>&gt;<u>T.M. Narytnyk</u>&lt;, V. Saiko, O. I. Bilous, A.I.Fisun Energy calculation of the terahertz radio link // Telecommunications and Radio Engineering Vol. 78, 2019, Number 6.- pp.537-557. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v78.i6.60.</p> <p>Проведено аналіз характеристик цифрового радіозв'язку через канали терагерцового діапазону частот з урахуванням характеристик траси поширення сигналу та визначено втрати сигналу в при роботі радіорелейної системи в терагерцовому діапазоні частот. На основі аналізу було показано, що затухання внаслідок ослаблення сигналу гідрометеорами, затухання внаслідок поглинання радіосигналу в газах та затухання внаслідок впливу діаграм антени є найбільш значущими серед відомих видів затухання в діапазоні частот 30...300 ГГц, і вони повинні враховуватися при проектуванні. Визначено частотні смуги терагерцового діапазону, які є найбільш придатними для використання для ліній радіорелейного зв'язку. Показано, що експлуатація терагерцових радіорелейних ліній дозволяє практично не враховувати рефракцію та інтерференцію електромагнітних хвиль, що відбиті від перешкод у зоні поширення сигналу, які трапляються особливо в умовах щільної міської забудови. Розрахунок енергетичного потенціалу терагерцової лінії радіозв'язку проводився на основі розробленої методології та результатів, отриманих у проведених дослідженнях, та розроблених на національному рівні засобів передачі сигналу в терагерцовому діапазоні. Методика заснована на використанні технології розрахунку ізотропної випромінюючої радіохвилі з урахуванням як необхідного співвідношення сигнал/перешкода (шум) для типу застосовуваної модуляції, так і компенсації втрат енергії на трасі через вплив факторів, що спотворюють сигнал.</p>
9	<p>&gt;<u>T. M. Narytnyk</u>&lt;, &gt;<u>G.L. Avdeyenko</u>&lt;, V.I.Korsun, .G. Sayko. Simulation of a terahertz band wireless telecommunication system based on the use of IR-UWB signals</p>

	<p>//Telecommunications and Radio Engineering.-Vol.78.- 2019.- Number 10.- pp. 901-919. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v78.i10.50.</p> <p>Представлено імітаційну модель терагерцової імпульсної надширокопasmової лінії зв'язку з докладним описом її основних компонентів. Відображено результати дослідження зміни часової форми IR-UWB-сигналу пікосекундної тривалості при його передачі через ідеалізовану модель лінії зв'язку в смузі від 110 до 170 ГГц с заданими параметрами. Для цього було проведено моделювання терагерцової імпульсної системи радіозв'язку типу "точка-точка". На основі отриманих результатів досліджень можна сформулювати вимоги до параметрів терагерцового радіоканалу ТГц. В якості середовища моделювання було обрано програмне забезпечення Visual System Simulator AWR Microwave Office. Ідеалізована імітаційна модель радіолінії ТГц побудована на основі параметрів та блок-схеми макетного зразка експериментальної моделі транзивера терагерцового діапазону.</p> <p>Результати дослідження щодо передачі UWB-сигналу пікосекундної тривалості через ідеалізовану модель радіоканалу терагерцового каналу зі смугою 110...140 ГГц показують, що основним типом спотворення форми часового імпульсу є його розширення від початкової тривалості 140 пс до 250 пс, що в першу чергу обумовлено обмеженням смуги пропускання у фільтрі низьких частот та смугових фільтрах передавальних та приймального трактів.</p>
10	<p>&gt;Т.М. Narytnyk.&lt; Principles of development of the terahertz band telecommunication system based on the technology of harmonic signal as the information carrier// Telecommunications and Radio Engineering, Vol.77(16):1423-1440(2018).-DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i16.30.</p> <p>Проаналізовано фізичні принципи введення та відтворення інформації, що передається з використанням гармонічного сигналу як носія інформації. На основі проведених теоретичних розрахунків, підтверджених результатами моделювання, сформовано принципи та правила визначення оптимальних параметрів системи зв'язку надширокопasmового терагерцового діапазону частот на основі технології електроніки з використанням гармонічного сигналу як носія інформації.</p> <p>Обґрунтована необхідність використання терагерцового діапазону частот при розгортанні телекомунікаційних систем з надвисокою швидкістю в майбутньому. Проведено аналіз найсучаснішої проблеми, обрано напрямок досліджень та визначено місію щодо створення широкопasmового доступу в терагерцовому діапазоні з гігабітною швидкістю в діапазоні робочих частот 130...134 ГГц.</p> <p>Проаналізовано характеристики тракту поширення сигналу та визначення втрат сигналу в умовах роботи радіорелейної системи терагерцового діапазону. На підставі проведеного аналізу показано, що робота радіорелейних ліній зв'язку в терагерцовій смузі дозволяє практично не враховувати рефракцію та інтерференції електромагнітних хвиль, відбитих від перешкод в області поширення радіосигналу, що відбувається переважно в умовах щільної міської забудови. Визначено ділянки спектру терагерцових частот, які найбільше підходять для використання в радіорелейних лініях зв'язку. Фізичне моделювання надвисокої швидкості передачі даних виконано на основі багаточастотного мультиплексування OFDM-модульованих цифрових потоків, випробувань на експериментальному стенді та оптимізації, спрямованої на досягнення максимальної пропускної здатності каналу, що використовується для передачі цифрової інформації у форматі Ethernet за допомогою розроблених програмних засобів. Створені програмні та апаратні засоби вперше дозволили досягти загальної швидкості передачі даних каналу до 1,2 Гбіт / с при повному дуплексі. Розроблена блок-схема транзивера у складі перетворювача частоти з субгармонійною накачкою, гетеродину з використанням високостабільного кварцового генератора з подальшою схемою множення і підсилення каскадів, смугового фільтру з використанням тонкої металевої пластини в Е-площині хвилеводного каналу 1,6 × 0,8 мм та лінзопорної антени.</p>

11	<p>&gt;<u>T.M. Narytnyk</u>&lt;, A. T. Orlov, I. K. Kuzmichev, V.I.Korsun, S.O. Perepelitsyn Design and modeling of band-pass filters on coaxial resonators for the cellular communication systems //Telecommunications and Radio Engineering. - Vol.79.- 2020-Number 13. – pp.1121-1127 DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i10.50</p> <p>Проведено аналіз, який показує необхідність забезпечити роботу радіоелектронних засобів без впливу завад шляхом усунення несумісних радіотехнологій у сусідніх смугах частот або шляхом мінімізації перешкод, наскільки це можливо. Представлений приклад, заснований на системах стільникового зв'язку, свідчить про те, що одним із факторів, що впливають на розмір частотного захисного інтервалу, є необхідність "відфільтрувати" сигнали сусідніх радіотехнологій, що працюють в протилежних напрямках передачі. У таких випадках слід використовувати фільтри, щоб уникнути завад. Фільтри дозволяють, в першу чергу, створити необхідне послаблення в діапазоні прийому базової станції (БС) сусідньої радіотехнології для придушення позасмугових та побічних випромінювань, що створюються власним передавачем БС; і, по-друге, створити загасання в смузі передачі сусідньої радіотехнології для зменшення рівня сигналів, що надходять від передавачів БС сусідньої радіотехнології на вхід приймача БС. Додаткові фільтри з високим нахилом АЧХ можуть знадобитися як для передавачів BS, так і для приймачів BS в деяких діапазонах частот в Україні. Ця стаття містить результати моделювання, проектування, експериментальних досліджень і випробувань смугового електричного фільтра в широкому діапазоні частот УВЧ діапазону (820-843 МГц і 890-915 МГц, 1920-1980 МГц і 2510-2570 МГц), використовуючи метод прототипу низькочастотного фільтра.</p>
----	--

**Додаток 2.** Переклад анотацій статей українською мовою, що наведені у Таблиці 3

№ з/п	Назви статей та переклад їх анотації
1	<p>&gt;<u>М.Ye. Ilchenko</u>&lt;, &gt;<u>Narytnik T.N.</u>&lt;, В.М. Radzikhovsky, S.E. Kuzmin, O.V. Lutchak. Development of the Transmitting and Receiving Channels for Terahertz Band Relay Systems// Telecommunications and Radio Engineering Vol. 74, 2015, Number11, PP.24-998.- DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v74.i11.30</p> <p>Представлено результати проектування та експериментального дослідження приймально-передавальних трактів телекомунікаційних систем з гігабітною пропускною здатністю в смузі частот 130...134 ГГц, що містять перетворювачі частоти з субгармонійною накачкою, гетеродин з використанням високостабільного кварцевого генератора, смугопропускний septum-фільтр на базі прямокутного хвилеводу з перерізом 1.6x0.8 мм<sup>2</sup> та конічної лінзопорної антени.</p> <p>Вперше проведено лабораторні дослідження зразка терагерцевої симплексної цифрової радіорелейної системи у складі приймального та передавального трактів з діапазоном частот 130-134 ГГц і цифрового модему з пропускною здатністю каналу до 1200 Мбіт/с для дальності в межах 1 км при нормальних умовах та коефіцієнті бітрової помилки (BER) не більше 10<sup>-6</sup></p>
2	<p>&gt;<u>T.M. Narytnyk</u>&lt;, &gt;<u>G. L. Avdeyenko</u>&lt; Investigation and modeling of transmission of the DVB-C standard television signals and the pulse ultra-wideband signal via the terahertz band radio link/ Telecommunications and Radio Engineering, 77(17):1517-1533 (2018). DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i17.30</p> <p>Досліджено параметри багатоканального сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-C при його передаванні через макет приймальнопередавального тракту діапазону 130ГГц. Результати дослідження показали, що використання нижньої частини терагерцевого діапазону частот (130 ГГц) зі смугою 24 МГц дозволяє передати три канали телевізійного мовлення стандарту DVB-C з загальною швидкістю транспортного потоку на рівні 125 МБіт/с з високою суб'єктивною якістю відтворення ТВ програм. Наведено результати моделювання</p>



	<p>передавання методом гетеродинування імпульсного ширококутового сигналу (IR-UWB) радіолінією терагерцового діапазону. Уперше наведено результати досліджень (зміни часової форми) при передаванні IR-UWB сигналу у вигляді гаусівського моноциклу передавальним трактом та його приймання приймальним трактом терагерцового діапазону, спроектованим для смуги частот 130,4-131,5 ГГц.</p> <p>На основі отриманих результатів досліджень сформульовані вимоги до параметрів радіолінії терагерцового діапазону для забезпечення прийнятної якості приймання імпульсних надширококутових сигналів. Розробка прийомопередавального тракту радіорелейної системи терагерцового діапазону немає прямих аналогів на даний час, що може забезпечити суттєвий прорив у розвитку галузі телекомунікацій. Отримані результати досліджень також сприятимуть розвитку суміжних з телекомунікаціями галузей, зокрема: радіоастрономії, міжсупутникового зв'язку, радіолокації, медицини</p>
3	<p>&gt;<u>Наритник Т.М.</u>&lt;, &gt;<u>Авдєєнко Г.Л.</u>&lt;, Набока Б.Ю., Дослідження багатоканальних сигналів цифрового телебачення DVB – С при їх передаванні по приймально-передавальному тракту терагерцового діапазону.// Цифрові технології. – 2016. - № 19. с.26-33.</p> <p>Описана структурна схема спроектованої експериментальної установки для дослідження параметрів сигналів цифрового телебачення при їх передаванні приймально-передавальним трактом терагерцового діапазону. Надані результати вимірювання параметрів триканального сигналу телевізійного мовлення стандарту DVB–С з загальною швидкістю транспортного потоку на рівні 125Мбіт/с при його передаванні по приймально-передавальному тракту в діапазоні частот 130...132 ГГц.</p>
4	<p>&gt;<u>Авдєєнко Г. Л.</u>&lt;, &gt;<u>Ільченко М.Ю.</u>&lt;., &gt;<u>Наритник Т.М.</u>&lt;, Єрмаков А.В., Лутчак О.В.</p> <p>Перетворювач частоти для прийомопередавача безпроводової телекомунікаційної системи фіксованого зв'язку терагерцового діапазону // Електронне наукове фахове видання – Журнал «Проблеми телекомунікацій».- Харків.-2017.-№1(20).-С.38-49.</p> <p>Представлено результати імітаційного моделювання та розробки перетворювача частоти для дослідження зміни параметрів сигналу цифрового супутникового телебачення стандарту DVB-S при його передаванні через вітчизняний дослідний зразок прийомопередавача нової безпроводової телекомунікаційної системи фіксованого зв'язку терагерцового діапазону. Аналіз отриманих результатів свідчить про можливість передавання через дослідний зразок прийомопередавача терагерцового діапазону ширококутових сигналів з малим рівнем спотворень, що в майбутньому відкриває можливість й для дослідження спотворень часової форми надширококутових сигналів при їх передаванні через цей дослідний зразок.</p>
5	<p>&gt;<u>Ільченко М.Е.</u>&lt;., Денбновецкий С.В., &gt;<u>Наритник Т.Н.</u>&lt;, Лутчак А.В., Май А.В.</p> <p>Проектирование интегрального приемника терагерцового диапазона частот. Електронне наукове фахове видання –Журнал «Проблеми телекомунікацій».- Харків.-2017.-№1(20).-С.57-63.</p> <p>Виконано моделювання функціональних вузлів інте-грального приймача, яке включає в себе наступні основні функціо-нальні елементи: балансний змішувач, гетеродин і підсилювач проміжної частоти. Розроблено базову конструкцію інтегрально-го приймача діапазону 280-300ГГц на базі перетворювача частоти на метало діелектричному хвилеводі (10×10 мм). Наукова новизна полягає у вирішенні проблеми підвищення робочого діапазону засобів телекомунікацій шляхом запропонованих авторами конк-ретних методів і технічних рішен</p>
6	<p>&gt;<u>Ільченко М.Ю.</u>&lt;., &gt;<u>Наритник Т. М.</u>&lt;, Радзіховський В.М., Кузьмін С.С., <u>Лутчак О.В.</u> Передавальний та приймальний радіотракти радіорелейних систем терагерцового діапазону //Цифрові технології . – 2015. – Вип. 17. – С.16-29.</p>

	<p>Наведено результати проектування та експериментальних досліджень приймального і передавального тракту телекомунікаційної системи із гігабітною пропускною здатністю в діапазоні частот 130...134 ГГц у складі: частотні перетворювачі з субгармонічною накачкою, гетеродин, що використовує високостабільний задавальний кварцовий генератор, смуго-пропускний хвилеводний (канал 1,6 × 0,8 мм) septum-фільтр, рупорна конічна антена. Уперше в практичному плані проведено дослідження лабораторного зразка цифрової симплексної радіорелейної системи терагерцового діапазону на дальність зв'язку в нормальних умовах умови 1 км при значеннях імовірності бітових помилок BER не більше ніж 10<sup>-6</sup> у складі: приймальний та передавальний радіотракти в діапазоні частот 130...134 ГГц та цифровий модем з пропускною каналною здатністю до 1200 Мбіт/с</p>
7	<p>&gt;М. Pchenko&lt;, S. Denbnovetsky, &gt;Т. Narytnik&lt;, O. Lutchak, O. May, A. Fisun, O. Bilous. Design of the 290...310 GHz frequency range integral receiver Telecommunications and Radio Engineering.-Vol.76.- 2017.- Number 15.- pp.1379-1390.</p> <p>Розроблено базову структуру інтегрального приймача діапазону 290-310 ГГц на основі перетворювача частоти на основі металеві-діелектричного хвилеводу (10×10 мм), що включає квазіоптичний відкритий резонатор, метал-діелектричні прямокутні хвилеводи та мікрозбірку з нелінійними елементами. Перетворювач дозволяє реалізувати широкі смуги частот (20 ГГц і більше). Введення в гетеродин квазіоптичного відкритого резонатора, що має селективні властивості і який здатний просторово підсумовувати потужність, що дозволяє досягти необхідного рівня потужності (5...10 дБм) гетеродина перетворювача частоти. Перетворювач частоти призначений для використання в системах зв'язку на основі терагерцових імпульсних надширокопосмугових сигналів із надвисокою пропускною здатністю.</p>

**Додаток 3.** Переклад анотацій монографій (розділів монографії) українською мовою, що наведені у Таблиці 4

№ з/п	Назви монографій та їх анотації
1.	<p>&gt;Т. Narytnyk&lt;, S. Kapshtyk. Prospects for the Development of Geostationary Satellite Communications Systems in the World// Lecture Notes in Electrical Engineering, 2019, Vol.560, pp. 146-166.</p> <p>Розглянуто сучасний стан та перспективи розвитку супутникових систем зв'язку з використанням ГСО в контексті ринку послуг супутникового зв'язку та використовуваних в космічному сегменті технічних рішень. Представлено особливості розвитку геостационарних супутникових систем з використанням супутників з високою пропускною здатністю.. Показано особливості розвитку систем зв'язку різних операторів на базі супутників з високою пропускною здатністю. Спеціальна увага приділяється використанню високопродуктивних супутникових технологій в супутниках Intelsat серії EPIC в діапазонах частот С та Ku. Показано переваги використання рішень на базі супутників Intelsat серії EPIC. Розглянуто тенденції розвитку супутникових систем з використанням ГСО.</p>

**Додаток 4.** Анотації українською мовою монографій, що наведені у Таблиці 2

№ з/п	Назви монографій та їх анотації
1	<p>&gt;Наритник Т.М.&lt;, Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи терагерцового діапазону Монографія.-Житомир.- :ФОП «Євенок О.О.».-2015.-394с.</p> <p>У монографії вперше в Україні представлено в систематизованому вигляді теоретичні і практичні основи створення та застосування телекомунікаційних систем</p>

	<p>терагерцового діапазону. Розглянуто особливості терагерцового діапазону хвиль, джерела терагерцового випромінювання та пристрої даного діапазону: антени, детектори, змішувачі. Наведено принципи побудови і функціонування безпроводових систем зв'язку суб- та терагерцового діапазонів. Приведено результати розробки в субтерагерцовому діапазоні приймально-передавального тракту радіорелейної системи фіксованого зв'язку та архітектур систем широкосмугового радіодоступу з підтримкою мобільності. Розглянуто вплив терагерцового випромінювання на біологічні об'єкти тавикористання терагерцового діапазону в наукових дослідженнях. Використані оригінальні праці авторів, а також інформацію, що віддзеркалює сучасний стан розвитку терагерцових телекомунікацій. Значна частина викладених в монографії оригінальних матеріалів є результатом науково-дослідних робіт, які проводились протягом останніх 10 років під керівництвом доктора технічних наук, професора, академіка Національної академії наук України М. Ю. Ільченка в науково-дослідному інституті телекомунікацій національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».</p>
2	<p>Наритник Т.М. Безпроводові системи зв'язку терагерцового діапазону Наритник Т.М., Сайко В.Г.//Книга.-International Book Market Service Ltd –LAP LAMBERT Academic Publishing .-2019.-68p.</p> <p>Монографія містить аналітичний огляд безпроводових систем зв'язку терагерцового діапазону, включаючи високошвидкісну безпроводову лінію зв'язку в діапазоні 120ГГц на базі фотонних технологій. безпроводову лінію зв'язку в діапазонах частот 300 ГГц і 625 ГГц на базі технологій мікрохвильової електроніки, безпроводові лінії зв'язку з шумовим носієм у терагерцовому діапазоні частот та радіорелейну систему діапазону 140 ГГц на базі мікрохвильових технологій електроніки. Наведено шляхи використання телекомунікаційних систем терагерцового діапазону та особливості архітектури і радіоінтерфейсу при побудові транспортної розподільчої мережі мобільного зв'язку 5G в терагерцовому діапазоні, дослідження можливостей використання терагерцового діапазону в гетерогенній транспортній розподільчій мережі мобільного зв'язку та результати моделювання функціональних вузлів радіотрактів терагерцового діапазону з використанням технологій фотоніки та мікрохвильової електроніки</p>
3	<p>Наритник Т. М. Цифрові радіорелейні та тропосферні лінії зв'язку (основи розрахунку). Наритник Т. М., Почерняєв В. М., Повхліб В. С.// Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 166с.</p> <p>Викладені основні принципи побудови цифрових радіорелейних і тропосферних ліній зв'язку і напрямів їх розвитку. Наводиться порядок розрахунку таких ліній зв'язку та енергетичні співвідношення на цих лініях. Розглядаються методи підвищення стійкості сигналу на інтервалах радіорелейних та тропосферних ліній зв'язку. Надано стан та перспективи розвитку цифрових радіорелейних та тропосферних ліній на базі мобільних засобів для польової системи зв'язку в інтересах оборони та національної безпеки.</p>