

# Облікова картка ДіР



## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0225U004576

**Державний реєстраційний номер:** 0125U003259

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 12-12-2025

## II. Етап виконання ДіР

**Номер етапу:** 1

**Назва етапу:** Теоретичне та інженерне обґрунтування концепції та розробка новітніх підходів сингулярного мультиплексування у оптичних каналах зв'язку

**Початок етапу:** 08.2025

**Закінчення етапу:** 12.2025

**Вид звітнього документа:** Остаточний звіт

## III. Відомості про виконавця ДіР

**Повне найменування юридичної особи:** Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

**Код за ЄДРПОУ:** 02071240

**Місцезнаходження:** вул. Коцюбинського, буд. 2, м. Чернівці, Чернівецька обл., 58012, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Розмір організації:**

**Телефон:** 380372584810, 380372552914

## IV. Відомості про співвиконавців ДіР

## V. Відомості про замовника ДіР

**Повне найменування юридичної особи:** Національний фонд досліджень України

**Код за ЄДРПОУ:** 42734019

**Місцезнаходження:** вул. Бориса Грінченка, 1, м. Київ, 01001, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Кабінет Міністрів України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Розмір організації:**

**Телефон:** 380442981622, 380442981622

## VI. Джерела, напрями та обсяги фінансування ДіР

**Підстава для проведення ДіР:** 34 - договір (замовлення) з центральним органом виконавчої влади, академією наук (головними розпорядниками бюджетних коштів на проведення НДДКР)

**Напрямок фінансування:** 2.2 - прикладні дослідження і розробки

### Джерела фінансування

7713 - кошти держбюджету

**Код програмної класифікації видатків і кредитування (КПКВК):** 2201390

<b>Фактичний обсяг фінансування (тис. грн.):</b> 2000.000
---

## VII. Відомості про ДіР

### Назва роботи українською:

Новітні методи і системи лазерного зв'язку у турбулентних атмосферних середовищах на основі фазових сингулярностей

### Назва роботи англійською:

Innovative Methods and Systems of Laser Communication in Turbulent Atmospheric Environments Based on Phase Singularities

### Реферат українською:

Робота присвячена розробці високостійкої системи оптичного зв'язку у вільному просторі на основі вихрових пучків з орбітальним кутовим моментом (ОАМ), призначеної для використання у безпілотних і роботизованих платформах у складних атмосферних та радіоелектронних умовах. Основна увага приділена створенню фізико-математичних моделей поширення частково когерентних багатомодових вихрових променів у нестационарних середовищах з урахуванням турбулентності, фазових флуктуацій та міжмодової взаємодії. У проєкті передбачається розроблення та виготовлення дифракційних оптичних елементів для генерації і демультимплексування ОАМ-мод, а також інтеграція їх у експериментальний канал зв'язку. Реалізується апаратно-програмний медіаконвертор, який забезпечуватиме прийом цифрових і радіочастотних потоків та їх трансляцію в ОАМ-мультимплексовані оптичні сигнали. Передбачено дослідження в двох ключових оптичних діапазонах -635 нм для оптимізації процесу розробки, та -980 нм для збільшення дальності, при роботі в атмосфері. Медіаконвертор підтримує стандартні інтерфейси UART, Ethernet, USB і RF (2.4/5.8 ГГц), що забезпечує сумісність із сучасними БП та наземними станціями. Передавання та прийом даних реалізуються з використанням типової протокольної інфраструктури. Архітектура керування базується на контролерах STM32 і доповнюється FPGA-модулями для високошвидкісної обробки ОАМ-сигналів. Експериментальна перевірка здійснюється за допомогою CMOS/CCD систем реєстрації, інтерферометричних методів, фазових масок та турбулентної камери з контрольованими параметрами. Вимірюються ключові характеристики каналу: BER, затримки, просторові деформації, стійкість топологічного заряду та ефективність демультимплексування. Очікуваними результатами є створення теоретичних моделей нової генерації, DOE-компонентів, прототипу ОАМ-оптичного медіаконвертора та демонстрація стабільного, завадостійкого і малопомітного каналу зв'язку для застосувань у безпілотних системах та високоточних телекомунікаціях.

### Реферат англійською:

The work focuses on the development of a high-resilience free-space optical (FSO) communication system based on vortex beams carrying orbital angular momentum (OAM), intended for unmanned and robotic platforms operating under severe atmospheric and electronic-warfare conditions. The study emphasizes the creation of physical and mathematical models describing the propagation of partially coherent multimode vortex beams in non-stationary media, considering turbulence, phase fluctuations, and inter-mode coupling. The project includes the development and fabrication of diffractive optical elements (DOE) for OAM mode generation and demultiplexing, as well as their integration into an experimental communication link. A hardware-software media converter is implemented to receive digital and RF data streams and translate them into OAM-multiplexed optical signals. Experiments are carried out in two key wavelength ranges: 635 nm for design optimization and 980 nm for extended-range atmospheric operation. The media converter supports standard UART, Ethernet, USB, and RF (2.4/5.8 GHz) interfaces, ensuring compatibility with modern UAVs and ground stations. Data transmission and reception rely on typical protocol infrastructures. The control architecture is based on STM32 controllers supplemented with FPGA modules for high-speed OAM signal processing. Experimental validation employs CMOS/CCD imaging systems, interferometric diagnostics, phase masks, and a turbulence chamber with

controlled parameters. Key channel characteristics are measured, including BER, latency, spatial distortions, topological charge stability, and demultiplexing efficiency. Expected results include advanced theoretical models, DOE components, a prototype OAM optical media converter, and the demonstration of a stable, interference-resistant, low-probability-of-intercept communication channel for unmanned technologies and high-precision telecommunications.

**Індекс УДК:** 535.4 , 535:628.373.8]:62Ф50 , 535.2:621.373.826

**Коди тематичних рубрик:** 29.31.49, 29.33.17, 29.33.43

**Керівники роботи**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:** Ангельський Олег Вячеславович

**Науковий ступінь:** д.ф.-м.н.

**Наукове звання:** професор

**Ідентифікатор ORCID ID:**

**Додаткова інформація:**

## **VIII. Наукова (науково-технічна) продукція (НТП)**

**Назва НТП українською:** Метод сингулярного мультиплексування відкритих оптичних каналів зв'язку в FSO-системах

**Назва НТП англійською:** Method of singular multiplexing of open optical communication channels in FSO systems

**НТП, яку передбачалося створити:** Створено

**Причини, через які НТП не було створено:**

**Отримані результати:** Методи, теорії, гіпотези

**Галузь застосування:** М 72.19 Дослідження й експериментальні розробки у сфері інших природничих і технічних наук

**Реєстраційний номер картки технології:**

**Опис НТП:** Метод сингулярного мультиплексування відкритих оптичних каналів зв'язку базується на використанні ортогональних вихрових пучків, які несуть різні значення орбітального кутового моменту (ОАМ). Кожна ОАМ-мода, що характеризується власним топологічним зарядом  $l$ , формує окремий незалежний канал зв'язку. На передавальній стороні синтезована вихрова голограма створює набір дифракційних порядків, у яких генеруються відповідні вихрові пучки. Після просторової фільтрації та вирівнювання інтенсивностей вони об'єднуються у груповий потік як некогерентна суперпозиція. На приймальній стороні аналізуюча вихрова голограма компенсує фазову структуру лише одного каналу, перетворюючи його у гладкий пучок, який формує максимум інтенсивності у фокальній площині. Інші моди залишаються вихровими з нульовою інтенсивністю в центрі, що дозволяє здійснити просторову фільтрацію за допомогою пінхолу. Експериментально визначено, що оптимальний діаметр пінхолу ( $\approx 10\%$  від ширини пучка) забезпечує відношення сигнал/шум  $SNR \approx 30$ . Метод характеризується високою стійкістю до зміщення оптичних елементів і атмосферних збурень: навіть зсув аналізуючої голограми до 20% не погіршує параметрів демультиплексування. Завдяки ортогональності ОАМ-мод система забезпечує масштабоване збільшення кількості каналів без взаємних перешкод.

**Соціально-економічна спрямованість НТП:** Створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту, Інше (Підвищення інформаційної ємності та стійкості до зміщення оптичних елементів і атмосферних збурень каналів відкритого атмосферного зв'язку)

**Вплив НТП на довкілля:**

**Впровадження НТП:** Не впроваджено

**Практична реалізація НТП**

**Початок етапу:**

**Закінчення етапу:**

**Споживачі продукції:**

**Перспективні ринки:**

**Характер співробітництва з інвестором**

**Потрібний обсяг інвестицій, тис. грн.:**

**Права, що надаються інвестору після завершення роботи:**

**Наявність бізнес-плану:**

**Техніко-економічне обґрунтування:**

**Потенціальний обсяг продажу, тис. грн.:**

**Очікуваний термін окупності (років):**

**Додаткова інформація:**

## **ІХ. Бібліографічний опис**

Angelsky O.V., Zenkova C.Yu., Bekshaev A.Ya., Ivanskyi D.I., Diachenko M., Zheng Jun, Zhang Xinzhen. New solutions for polarization-sensitive optical coherence tomography. Ukrainian Journal of Physical Optics. 2025. 26(3) P. 03067-03077. <https://doi.org/10.3116/16091833/Ukr.J.Phys.Opt.2025.03067>

Angelsky O.V., Shchukin S.P. Supersymmetry approach for describing optical vortex generation in fibers. Ukrainian Journal of Physical Optics. 2025. 26(4). P.04058-04065. <https://doi.org/10.3116/16091833/Ukr.J.Phys.Opt.2025.04058>

Angelsky O.V., Maksymiak P.P., Shchukin S.P. Comparative analysis of graded-index and step-index optical fibers for sted microscopy. Ukrainian Journal of Physical Optics. 2025. 27(1). P. 01027-01039. <https://doi.org/10.3116/16091833/ukr.j.phys.opt.2026.01027>

Angelsky Oleg, Strynadko Myroslav, Zenkova Claudia, Zheng Jun. Automated polarisation-optical method for diagnostics of railway rails surface defects. Opto-Electronics Review. 2025. Vol. 33. P. e155876. <https://doi.org/10.24425/opelre.2025.155876>

Mokhun Igor, Galushko Yuriy, Viktorovskaya Yuliia, Karabchivskyi Maxym, Kruk Volodymyr. Optical communication system with interference protection against unauthorized access. Proc. SPIE 13813, Seventeenth International Conference on Correlation Optics. 2025. P. 138131A <https://doi.org/10.1117/12.3092269>.

Zenkova Claudia, Ivanskyi Dmytro, Angelsky Oleg, and Diachenko Mykhailo. Discrete approach for STWP/STOV numerical simulation. Proc. SPIE 13813, Seventeenth International Conference on Correlation Optics. 2025. P. 138130G. <https://doi.org/10.1117/12.3090111>.

Angelsky Oleg, Strynadko Myroslav, Zenkova Claudia, Zheng Jun. Hybrid distributed acoustic and Fourier-transform interferometric sensing with modular fiber-optic architecture. Proc. SPIE 13813, Seventeenth International Conference on Correlation Optics. 2025. P. 138130N. <https://doi.org/10.1117/12.3091567>.

Angelsky Oleg V., Maksymiak Oleksandr P., Maksymiak Andrew P., Kruk Volodymyr V., Kitsan Mykyta O. Study of the Mueller matrix of the image of micro-objects. Proc. SPIE 13813, Seventeenth International Conference on Correlation Optics. 2025. P. 138130V. <https://doi.org/10.1117/12.3091915>.

Roslyakov Oleksandr, Yermolenko Serhii, Felde Christina. Compact multiwavelength NIR system for noninvasive grain moisture measurement. Proc. SPIE 13813, Seventeenth International Conference on Correlation Optics. 2025. P. 138131I. <https://doi.org/10.1117/12.3092370>.

Burkovets Dmytro, Kryvetskyi Vasyl, Peresunko Oleksandr, Shuh Yaroslav. Analytical modeling and error verification in spectrophotometry for biomedical and technical applications. Proc. SPIE 13813, Seventeenth International Conference on Correlation Optics. 2025. P. 138131N. <https://doi.org/10.1117/12.3092387>.

Roslyakov Oleksandr, Reshetnyk Serhii, Horodynska Nina, and Kryvetskyi Vasyl. Spectroscopic-refractometric module for in-situ microplastic detection in aquatic environments. Proc. SPIE 13813, Seventeenth International Conference on Correlation Optics. 2025. P. 138132U. <https://doi.org/10.1117/12.3093031>.

Zenkova C., Ivanskyi D., Koniakhin A., Diachenko M. Polarized light scattering modeling by eye cornea cells. Proc. SPIE 13813, Seventeenth International Conference on Correlation Optics. 2025. P. 1381332.  
<https://doi.org/10.1117/12.3093239>.

Kryvetskyi Vasyl, Burkovets Dmytro, Peresunko Oleksandr, Penishkevich Yaroslav. Spectral-morphometric analysis of atypical cervical vascular network. Proc. SPIE 13813, Seventeenth International Conference on Correlation Optics. 2025. P. 138132W. <https://doi.org/10.1117/12.3093035>.

Mokhun I., Vasnetsov M., Galushko Yu., Viktorovska Yu., Felde Ch., Karabchyivskyi M., Kitsan M. A free-space optical communication system with singular multiplexing of channels. Ukrainian Journal of Physical Optics. 2026. 27(1) P. 01070 - 01079 <https://doi.org/10.3116/16091833/Ukr.J.Phys.Opt.2026.01070>

## **Х. Заключні відомості**

### **Керівник юридичної особи**

Халавка Юрій Богданович  
д. х. н., 02.00.21

### **Перелік осіб-виконавців**

Вікторовська Юлія Юріївна  
(к. ф.-м. н., доц., 01.04.05)

Галушко Юрій Костянтинович  
(к. ф.-м. н., 01.04.05)

Зенкова Клавдія Юріївна  
(д. ф.-м. н., професор, 01.04.05)

Кривецький Василь Іванович  
(к. ф.-м. н.)

Крук Володимир Володимирович

Кіцан Микита Олександрович

Мохунь Ігор Іванович  
(д. ф.-м. н., професор, 01.04.05)

Фельде Христина Вікторівна  
(к. ф.-м. н., доц., 01.04.05)

### **Відповідальний за підготовку облікових документів**

Холодницька Любов Миколаївна

### **Телефон**

+380502865647

### **Реєстратор**

Юрченко Тетяна Анатоліївна

### **Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна