

«Затверджую»

Директор Інституту прикладних  
проблем механіки і математики

ім. Я.С. Підстригача НАН України,  
академік НАН України,

доктор фізико-математичних наук



Роман КУШНІР

«20» липня 2024р.

## ВИСНОВОК

**про наукову та новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації**

**Ванкевича Петра Петровича на тему:**

**"Моделювання поширення світлових променів  
через елементи волоконно-дифракційних сенсорів",**

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 113 – прикладна математика

Робота заслухана на засіданні розширеного семінару відділу теорії фізико-механічних полів Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України (протокол № 2 від 8 липня 2024 р.), на якому доповідач виклав основні положення та результати дисертаційної роботи.

ПРИСУТНІ: 15 співробітників ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАНУ та 2 співробітники Національної академії сухопутних військ імені Петра Сагайдачного, а саме:

Акад. НАН України, д. ф.-м. н., проф. Р.М. Кушнір;

науковий керівник семінару д. ф.-м. н., проф. О.Р. Гачкевич, завідувач відділом;

д. т. н., проф. Андрійчук;

д. т. н., ст. н. с. С.Ф. Будз;

д. т. н., проф. В.І. Грабчак;

д. ф.-м. н., ст. н. с. Б.М. Калиняк;

д. ф.-м. н., доц. С.З. Малинич

д. ф.-м. н., ст. н. с. В.В. Матус;

д. ф.-м. н., ст. н. с. Р.Ф. Терлецький;

д. ф.-м. н., ст. н. с. Ю.В. Токовий;

д. ф.-м. н., ст. н. с. В.А. Шевчук;

к. ф.-м. н., ст. н. с. М.Г. Гачкевич;

к. ф.-м. н., ст. н. с. М.Г. Івасько;

к. ф.-м. н., ст. н. с. Є.М. Ірза;

к. ф.-м. н., ст. н. с. Т.В. Козакевич;

мат. 1 кат. Чупик І.І.

## СЛУХАЛИ:

1. Наукову доповідь аспіранта ІППММ ім.Я.С.Підстригача НАН України Ванкевича Петра Петровича за матеріалами дисертації "Моделювання поширення світлових променів через елементи волоконно-дифракційних сенсорів", поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань «11 – Математика та статистика» за спеціальністю «113 – Прикладна математика».

Тему дисертаційної роботи "Моделювання поширення світлових променів через чутливі елементи волоконно-оптичних сенсорів" затверджено на засіданні Вченої ради ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України (протокол № 11 від 29 грудня 2020 року). Науковим керівником затверджено д.ф.-м.н., ст.н.с. Б.Д. Дробенка. Тему "Моделювання поширення світлових променів через елементи волоконно-дифракційних сенсорів" було перезатверджено на засіданні Вченої ради ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України (протокол № 6 від 30 травня 2024 року).

## 2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили: д.т.н., проф. Андрійчук; д.т.н., ст.н.с. С.Ф. Будз; д.ф.-м.н., проф. О.Г. Гачкевич; д.ф.-м.н., ст.н.с. Б.М. Калиняк; д.ф.-м.н., ст.н.с. В.В. Матус; д.ф.-м.н., ст.н.с. Р.Ф. Терлецький; д.ф.-м.н., ст.н.с. Ю.В. Токовий; д.ф.-м.н., ст.н.с. В.А. Шевчук, на які П.П. Ванкевич дав чіткі та ґрунтовні відповіді, що свідчить про його високий фаховий рівень, знання предмету досліджень та самостійність виконання роботи.

## 3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь: д.т.н., проф. Андрійчук; д.ф.-м.н., проф. О.Г. Гачкевич; д.т.н., проф. В.І. Грабчак, д.ф.-м.н., доц. С.З. Малинич та рецензенти д.ф.-м.н., ст.н.с. Б.М. Калиняк; д.ф.-м.н., ст.н.с. В.В. Матус, які позитивно оцінили проведені автором дослідження, підкреслили актуальність роботи, її новизну та практичну цінність.

### 1. Актуальність теми.

Засоби математичного моделювання процесів взаємодії світлових променів з чутливими волоконно-оптичними елементами у поєднанні зі сучасними комп'ютерними технологіями істотно розширюють функціональні можливості військовослужбовців, позаяк надають можливість у режимі реального часу виявляти небезпеку вогневого ураження від засобів, які застосовують лазерні системи для наведення на ціль, і сповіщати про це військового. Для розроблення таких схем сповіщення військових про небезпеку вогневого ураження можна використати волоконні дифракційні сенсори, які легко інтегруються в текстильні структури. Інтегровані в текстиль сенсори дають можливість вловлювати промені прицільних засобів стрілецької зброї. Опрацювання цих сигналів засобами математичного і програмного забезпечення дозволяє визначити місце джерела випромінювання – за напрямком поширення променя. Тому розроблення засобів математичного моделювання поширення світлових променів через елементи волоконних дифракційних сенсорів та відповідного програмного забезпечення, яке уможливило опрацювання в реальному часі сигналів від променів, випромінюваних прицільними засобами зброї, є надзвичайно важливим завданням в наш час.

Дисертаційна робота спрямована на розроблення засобів математичного і комп'ютерного моделювання взаємодії світлових променів із волоконно-дифракційними елементами сенсорних систем попередження про небезпеку вогневого ураження і виявлення позицій засобів ураження, які застосовують лазерні системи для наведення на ціль.

**2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Обраний напрям досліджень пов'язаний з положеннями Державної цільової оборонної програми розвитку озброєння та військової техніки ЗС України на період до 2022 року, введеної в дію Указом Президента України від 6 червня 2016 року № 240/2016, а також напрямів розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період, схвалений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 червня 2017 року № 398. Дослідження за темою дисертації виконувалися в рамках науково-дослідних тем Інституту прикладних проблем механіки і

математики ім. Я. С. Підстригача НАН України: "Виявлення додаткового ресурсу конструкцій енергетичного машинобудування, озброєнь та військової техніки засобами математичного моделювання" (2021-2023, № держреєстрації 0121U100692); "Моделювання та розвиток методів розрахунку раціонального функціонування конструкційних елементів і систем різного цільового призначення за комплексних навантажень" (2023-2024, № держреєстрації 0123U100908).

### **3. Наукова новизна.** У дисертації одержані наступні наукові результати:

1. Розроблено математичну модель для кількісного опису взаємодії одновимірних та двовимірних волоконно-дифракційних ґраток із лазерним випромінюванням.
2. Уперше, засобами математичного і комп'ютерного моделювання процесів поширення світлових променів через дифракційну ґратку із поліанілінових волокон обґрунтовано і практично підтверджено появу дифракційних смуг у вигляді розсіяних кривих другого порядку, форма яких зумовлена явищем конічної дифракції і залежить від кута падіння променя на ґратку, що дало можливість розробити сигнальний елемент волоконно-дифракційного сенсора.
3. Уперше з використанням сигнального елемента волоконно-дифракційного сенсора математично визначено кутові положення джерела випромінювання, що дало можливість використати розроблені сигнальні елементи для побудови системи виявлення джерела випромінювання та його позиціонування.
4. Досліджено характеристики полімерного волокна поліаніліну за допомогою адаптованих під вирішення поставленого завдання теоретико-експериментальних методів, показано можливість використання такого волокна для формування волоконно-дифракційних мікродавачів, здатних виявляти засоби вогневого ураження, в яких використовується спрямоване лазерне випромінювання як чинник зондування.

**4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації.** Значення результатів дисертаційної роботи для теорії полягає в побудові нової математичної моделі процесів взаємодії лазерного випромінювання з елементами волоконно-дифракційних сенсорів. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони безпосередньо використані при розробленні фізичного прототипу відповідних сигнальних елементів для побудови системи виявлення засобів вогневого ураження та їх позиціонування по відношенню до сигнального елемента. Запропоновано також структуру, склад і параметри сигнального елемента волоконно-дифракційного сенсора перспективної інтегрованої комп'ютерної мережі для виявлення локацій випромінювання. Чутливі елементи інформаційних систем попередження про небезпеку інтегровано в бойове екіпірування. Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено 2 актами, які додані до дисертації. Зокрема, створене програмне забезпечення на основі розробленої математичної моделі взаємодії лазерного випромінювання з волоконно-дифракційною ґраткою використано при розробленні фізичного прототипу сигнальних елементів для системи попередження про небезпеку вогневого ураження на ТОВ "Техприлад".

**5. Публікації та висновок про особистий внесок здобувача в отримання наукових результатів та в працях, написаних у співавторстві.** За темою дисертації опубліковано 22 наукові праці. Серед них 2 статті опубліковані у виданнях, індексованих в міжнародній науково-метричній базі Scopus [1-2], стаття в науковому виданні країн-членів ЄС [3], 4 статті у фахових наукових виданнях [4-7], патент на корисну модель [8]. Результати дисертації додатково відображено у 14-х тезах доповідей на науково-технічних і науково-практичних конференціях [9-22].

1. Vankevych P.P., Drobenko B.D., Ftomyn N.Y., Chornodolskyu Ya.M., Chernenko A.D., Vankevych P.I., Derevjanchuk A.Y., Moskalenko D.R. Determination of the angle of rotation of the diffraction grating by the method of conical diffraction. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2022. Vol. 23, No. 4. P. 825-829. <https://doi.org/10.15330/pcss.23.4.825-829>.
2. Vankevych P.P., Drobenko B.D., Ftomyn N.Y., Chornodolskyu Ya.M., Dehtiarenko V.V., Sliusarenko A.V., Chernenko A.D., Bolkot P.A. Determining the position of a radiation source using the conical diffraction method. *Journal of Physical Studies*, 2022. Vol. 26, No 4. P. 4403-1-4403-5. <https://doi.org/10.30970/jps.26.4403>.
3. Vankevych P.P., Dehtiarenko V.V., Drobenko B.D. Registration of signals of laser emitter. Test experiment. *The scientific heritage*. 2021. Vol. 1, No 81 (81). P. 40–44. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-81-81-1-40-44.
4. Ванкевич П.П., Дегтяренко В.В., Дробенко Б.Д., Настишин Ю.А. Оптиковолоконна тканина як елемент сигнальних систем. *Військово-технічний збірник*. 2020. Вип. 23. С. 65–74. DOI:10.33577/2312-4458.23.2020.65-74.
5. Ванкевич П.П., Іваник Є.Г., Дегтяренко В.В., Федоренко В.В. Система попередження про небезпеку на основі елементів волоконної оптики, інтегрованих в бойове екіпірування. *Озброєння та військова техніка*. 2020. № 1(21). С.59–65.
6. Дегтяренко В.В., Ванкевич П.П., Іваник Є.Г. та інші. Розпізнавання об'єктів в умовах бойових дій на основі теоретико-інформаційного підходу до задачі пошуку. *Збірник наук. праць Військової академії*. 2020. № 1(13), Ч. 2. С. 52–59.
7. Ванкевич П.П., Фтомин Н.Є. Трансформація сигналів генерованих сенсорами оптичної волоконної оптики в системах попередження вогневого ураження. *Збірник наукових праць Військової академії*. 2023. № 2(20), Ч. 2. С.125-131.
8. Патент на корисну модель № 133615 U Україна, МПК (2019.01) F41H 1/00 G02B 13/16 (2006.01). Сигнальний елемент / П.П. Ванкевич, В.Й. Стадник, Б.Д. Дробенко, Ю.А. Настишин, В.Д. Смичок, А.Д. Черненко, О.М. Рудковський, П.І. Ванкевич, Є.Г. Іваник, І.М. Ільків, В.В. Пашковський; власники пат. Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львівський національний університет імені Івана Франка, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України № у 2018 11993; заявл. 03.11.2018; опубл. 10.04.2019, № 7. 3 с.
9. Ванкевич П.П., Іваник Є.Г., Ільків І.М. Створення інформаційної системи сигналізації про небезпеку з підтримання ефективного виконання спеціальних бойових дій. *Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: зб. тез доп. наук.-практ. конф.* (Харків, 15-16 березня 2017 р.). Харків: В-во Національної академії Національної гвардії України. 2017. С. 28–30.
10. Ванкевич П.П., Настишин Ю.А., Іваник Є.Г. Дослідження можливостей інтеграції сенсорних елементів із оптичних волокон у текстильні матеріали бойового екіпірування. *Перспективи розвитку озброєння і військової техніки сухопутних військ: зб. тез доп. Міжнародної наук.-техн. конф.* (11-12 травня 2017 р.). Львів: НАСВ, 2017. С. 88.
11. Kapustianyk V.V., Vankevych P.P., Chernenko A.D. Information alarming systems embedded in the military equipping. *Застосування Збройних Сил України у конфліктах сучасності: зб. тез доп. Міжнародної наук.-техн. конф.* (Львів, 16 листопада 2017 р.). Львів: НАСВ, 2017. С. 105.
12. Ванкевич П.П., Смичок В.Д., Іваник Є.Г. Дослідження процесів лазерного випромінювання квантового далекоміра для розробки електронної схеми виявлення та інформування про небезпеку. *Актуальні питання забезпечення службово-бойової*

діяльності військових формувань та правоохоронних органів: зб. тез доп. наук.-практ. конф. (Харків, 31 жовтня 2018 р.). Харків: В-во Національної академії Національної гвардії України, 2018, С. 29–31.

13. Vankevych P.P. Stadnyk V.Y. Improvement of the efficiency of detecting of narrow-aperture light radiation using optical-fiber fabric. *Geoforum 2019: тези доп. міжнародної наук.-техн. конф.* (Львів - Яворів - Брюховичі, 2019 р.). Львів: видавництво Львівської політехніки, 2019. С. 108-109.
14. Ванкевич П.П., Іваник Є.Г. Волоконно-оптичні системи попередження про небезпеку. *Проблеми бойового та логістичного забезпечення складових сектору безпеки і оборони України: зб. тез доп. всеукр. наук.-практ. конф.* (Харків, 23 січня 2020 р.). Харків: видавництво Національної академії Національної гвардії України, 2020. С. 31–32.
15. Ванкевич П., Іваник Є., Федоренко В. Сенсорно-інформаційна система реєстрації сигналів попередження військовослужбовця про небезпеку. *Матеріали міжн. наук.-техн. конф. "Геофорум-2020"* (Львів–Брюховичі–Яворів, 1–3 квітня 2020 р.). Львів: видавництво Львівської політехніки, 2020. С. 167–168.
16. Ванкевич П.П., Дробенко Б.Д., Федоренко В.В. Трансформація світлових променів при взаємодії з волоконно-оптичними сенсорами. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності: зб. тез доп. наук.-практ. конф.* (Львів, 20 листопада 2020 р.). Львів: НАСВ, 2020. С.23.
17. Дегтяренко В.В., Ванкевич П.П., Дробенко Б. Д. Організаційно-технічні заходи для своєчасної ідентифікації живої сили та техніки своїх і союзних підрозділів. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ: зб. тез доп. міжн.наук.-техн. конф.* (Львів, 14 травня 2021 р.) Львів: НАСВ, 2021. С. 21–22.
18. Дегтяренко В., Іваник Є., Ванкевич П. Пасивна система реєстрації імпульсів віддаленого випромінювача. *Геофорум-2021: матеріали міжн. наук.-техн. конф* (Львів–Брюховичі–Яворів, 9–11 червня 2021 р.). Львів: видавництво Львівської політехніки, 2021. С. 72–75.
19. Ванкевич П.П., Дробенко Б.Д. Визначення параметрів середовища дистанційними лазерними методами. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності: зб. тез доп. наук.-практ. конф.* (Львів, 18 листопада 2021 р.). Львів: НАСВ, 2021. С. 24–25.
20. Ванкевич П.П., Дробенко Б.Д. Характеристики полімерного волокна, яке може бути використане для формування волоконно-оптичних мікродавачів. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності: зб. тез доповідей наук.-практ. конф.* (Львів, 20 листопада 2022 р.). Львів: НАСВ, 2022. С. 291.
21. Ванкевич П.П., Дробенко Б.Д. Волоконно-оптичні давачі, вбудовані в технічний текстиль для моніторингу небезпек військовослужбовця. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ: зб. тез доп. міжн. наук.-техн. конф.* (Львів, 14 травня 2023 р.). Львів: НАСВ, 2023. С. 286.
22. Ванкевич П.П., Дробенко Б.Д. Сенсори волоконної оптики в системах попередження вогневого ураження. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності: зб. тез доп. наук.-практ. конф.* (Львів, 31 листопада 2023 р.). НАСВ. Львів, 2023. С. 125.

Усі результати, що становлять основний зміст дисертації, отримані здобувачем самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, йому належить аналіз літературних джерел, в яких розглянуто питання, споріднені з напрямом досліджень

дисертаційної роботи, формулювання задач, застосування відповідного математичного апарату, виконання розрахунків і обчислень, інтерпретація отриманих числових результатів у вигляді графіків і таблиць. Зокрема, у статті [1] ним запропоновано математичну модель, яка описує взаємодію 1D дифракційної ґратки із лазерним випромінюванням. Засобами математичного моделювання отримано, що при повороті ґратки на кут  $\varphi_0$  результатом взаємодії світла з дифракційною ґраткою є поширення конуса дифракції. При перетині дифракційного конуса площиною екрану форма дифракційних смуг набуває вигляду еліпса (для кутів  $\varphi_0 > 45^\circ$ ), параболи (при  $\varphi_0 = 45^\circ$ ) чи гіперболи (для  $\varphi_0 < 45^\circ$ ). Розроблена математична модель узагальнена на випадок взаємодії 2D волоконно-дифракційної ґратки із лазерним випромінюванням. Засобами математичного моделювання отримано, що внаслідок дифракції на 2D дифракційній ґратці, орієнтованій довільним чином у просторі, виникають дві смуги – розсіяні криві другого порядку. Для чисельної апроксимації дифракційних смуг для довільних кутів повороту дифракційної ґратки використано модифікований метод найменших квадратів та метод регресії ортогональних відстаней; у статті [2] ним проведено низку експериментальних досліджень і отримано дифракційні смуги за допомогою 1D дифракційної ґратки під час її повороту на різні кути. Показано, що отримані смуги мають вигляд розсіяних кривих другого порядку. Встановлено, що для кутів повороту 1D дифракційної ґратки більших за 45 градусів дифракційні смуги мають вигляд замкнених кривих, натомість для діапазону кутів менших за 45 градусів – незамкнені. Отримано дифракційні смуги за допомогою 2D дифракційної ґратки під час зміни її орієнтації в просторі за двома ступенями вільності. Показано, що для 2D ґратки дифракційні картини складаються з двох смуг, які також можна описати за допомогою рівняння другого порядку. Оскільки отримані картини дифракції містять області розсіяного світла (характерне гало), запропоновано методи фільтрації зображень за допомогою цифрових фільтрів; у праці [3] здобувачем виконано дослідження характеристик променів цілеспрямовано випромінюваних лазерними пристроями, на основі чого розроблено оригінальну електронну схему виявлення та інформування (світлового або звукового) військовослужбовця у випадку активізації та проявів інтересу противника до місця його дислокації; у статті [4] ним досліджено характеристики полімерного волокна поліаніліну, використаного в подальшому для формування волоконно-дифракційних мікродавачів, здатних інформативно опрацьовувати спрямоване лазерне випромінювання; у статті [5] здобувачем обґрунтовано можливість інтегрування елементів волоконної оптики в текстильні матеріали бойового екіпірування військовослужбовця та модифікацію цих елементів під функцію реєстрації зовнішніх прицільно спрямованих оптичних променів; у статті [6] – на основі загального формулювання проблеми пошуку ним сформовано завдання мінімізації максимальної довжини пошукового шляху, спрямованого на виявлення та ідентифікацію шуканого об'єкту; у статті [7] здобувачем розроблено методику комп'ютерного моделювання, на основі якої було виконано комплекс експериментальних випробувань схеми реєстрації імпульсних сигналів, емітованих лазерним випромінюванням в лінійному дисперсійному середовищі; викладено теоретичне підґрунтя задачі розпізнавання належності сил на полі бою або в районі проведення бойових операцій із залученням елементів комбінаторики, математичної статистики і теорії інформації та розроблено теоретико-експериментальну схему передачі інформації по каналу зв'язку з можливістю багатоваріантного доступу; у праці [8] ним запропоновано новий сигнальний елемент системи ідентифікації свій-чужий, інтегрованої в бойове екіпірування військовослужбовця.

**6. Дисертаційна робота Ванкевича П.П. «Моделювання поширення світлових променів через елементи волоконно-дифракційних сенсорів»**, яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою

Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України зі спеціальності 113 – Прикладна математика.

### **РЕКОМЕНДУВАЛИ:**

1. Дисертаційну роботу «**Моделювання поширення світлових променів через елементи волоконно-дифракційних сенсорів**», подану Ванкевичем Петром Петровичем на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту.
2. Головою спеціалізованої вченої ради призначити:
  - д. т. н., проф. Андрійчука Михайла Івановича, завідувача відділу числових методів математичної фізики Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України.

Опонентами призначити:

- д. ф.-м. н., проф. Карбовника Івана Дмитровича, завідувач кафедри радіофізики та комп'ютерних технологій Львівського національного університету ім. Івана Франка;
- д. ф.-м. н., професора Малинича Сергія Захаровича, професора, професор кафедри електромеханіки та електроніки Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного.

Рецензентами призначити:

- д.ф.-м.н., старшого наукового співробітника Калиняка Богдана Миколайовича, провідного наукового співробітника відділу механіки деформівного твердого тіла Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України;
- д.ф.-м.н., старшого наукового співробітника Терлецького Ростислава Федоровича, провідного наукового співробітника відділу теорії фізико-механічних полів Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України.

### **Головуючий на засіданні:**

д. ф.-м. н., проф., завідувач відділом  
теорії фізико-механічних полів  
Інституту прикладних проблем механіки і  
математики ім. Я.С. Підстригача НАН України



Олександр ГАЧКЕВИЧ