

АНОТАЦІЯ

Ванкевич П. П. "Моделювання поширення світлових променів через елементи волоконно-дифракційних сенсорів". – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 11 – Математика та статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика. – Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача Національної академії наук України, Львів, 2024.

У роботі вирішене важливе науково-прикладне завдання – розроблення математичної моделі та відповідного програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання взаємодії світлових променів із волоконно-дифракційними елементами сенсорних систем попередження про небезпеку вогневого ураження засобами, які застосовують лазерні системи для наведення на ціль.

Об'єктом дослідження є процеси взаємодії світлових променів з поліаніліновими волокнами дифракційного сенсора.

Предметом дослідження є математичні моделі функціонування сигнального елемента волоконно-дифракційного сенсора, інтегрованого в бойове екіпірування.

Наукова новизна роботи:

1. Розроблено математичну модель для кількісного опису взаємодії одновимірної (1D) та двовимірної (2D) волоконно-дифракційної ґратки із лазерним випромінюванням.
2. Уперше, засобами математичного і комп'ютерного моделювання процесів поширення світлових променів через дифракційну ґратку із поліанілінових волокон, практично підтверджено появу дифракційних смуг у вигляді розсіяних кривих другого порядку (еліпс, гіпербола, парабола), 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 в одній площині: джерело небезпеки зліва (або вгорі), справа (або внизу).
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. Обґрунтовано можливість інтегрування елементів волоконної оптики в текстильні матеріали бойового екіпірування військовослужбовця та їх модифікацію під функцію реєстрації діючих ззовні прицільно спрямованих оптичних променів.

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.

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатку.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми дослідження; сформульовано мету, об'єкт, предмет і завдання дисертаційної роботи; відображено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів; висвітлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами і грантами. Також відзначено внесок здобувача, відомості про апробацію результатів досліджень, наведено список публікацій здобувача, подано структуру і обсяг роботи.

У першому розділі виконано огляд волоконно-дифракційних сенсорів, які можуть бути використані для діагностування різних небезпечних ситуацій в режимі реального часу, зокрема ситуацій можливого вогневого ураження військових. Наведено огляд методів виявлення засобів вогневого ураження, які застосовують лазерні системи для наведення на ціль, та можливих технічних рішень в арміях країн-членів НАТО, в результаті якого зроблено висновок про необхідність нової розробки, здатної в автоматичному режимі встановлювати факт проведення прихованого відеоспостереження і розвідки у складних умовах рельєфу місцевості та виявляти місцезнаходження джерела лазерного випромінювання. Важливим чинником за таких обставин є можливість її інтегрування в комплекс бойового екіпірування. Показано і теоретично обґрунтовано, що для цього можна використати оптичні волокна із чутливих полімерних матеріалів, які органічно інтегруються у звичайні текстильні матеріали. Виготовлена з оптичного волокна тканина здатна розгортати вузько-апертурний лазерний промінь зондування у світлову пляму, просторовий розподіл інтенсивності якої залежить від кутів падіння променя.

Для розроблення такого типу волоконно-дифракційних систем попередження про небезпеку необхідно виконати низку експериментальних досліджень з метою виявлення особливостей взаємодії лазерного випромінювання з волоконно-дифракційними елементами сенсорних систем і встановлення експериментальних залежностей спостережуваних явищ від кута падіння лазерного променя на елемент; розробити методику чисельної апроксимації результатів експериментальних досліджень та відповідну математичну

модель для кількісного опису процесів взаємодії світлових променів з чутливими волоконно-дифракційними елементами сенсорних систем, а також створити відповідне програмне забезпечення, яке дасть змогу в режимі реального часу отримувати інформацію про орієнтацію чутливого елемента сенсорної системи відносно спадного променя чи, іншими словами, кутові координати джерела випромінювання ворожої лазерної системи наведення.

У другому розділі подано опис результатів експериментальних досліджень, виконаних з метою виявлення особливостей взаємодії лазерного випромінювання з волоконно-дифракційними ґратками. Для створення таких ґраток використано доступні поліанілінові волокна, з яких відносно легко сформувати як одновимірні, так і двовимірні періодичні структури.

Експериментально отримано дифракційні картини залежно від фіксованого положення 1D та 2D дифракційної ґратки. Досліджено залежність отримуваних дифракційних смуг від кута падіння лазерного променя на ґратку. Показано, що отримані смуги мають вигляд розсіяних кривих другого порядку.

Репрезентовано методи опрацювання цифрових зображень, які стосуються покращення їх якості, зміни контрасту, цифрової фільтрації тощо. Детально розглянуто операцію виділення контурів (границь елементів зображень) та фільтрацію цифрових зображень. Приведено оптимальні фільтри для задачі виділення контурів.

У третьому розділі запропоновано математичну модель для кількісного опису взаємодії 1D дифракційної ґратки із лазерним випромінюванням. Засобами математичного моделювання отримано, що при повороті ґратки на кут φ_0 результатом взаємодії світла з дифракційною ґраткою є дифракційна смуга, яка є перерізом конусу дифракції площиною екрана. При перетині дифракційного конусу площиною екрану форма дифракційних смуг набуває вигляду розсіяних кривих другого порядку у вигляді еліпса (для кутів $\varphi_0 > 45^\circ$), параболи ($\varphi_0 = 45^\circ$) чи гіперболи ($\varphi_0 < 45^\circ$).

Розроблена математична модель узагальнена на випадок 2D дифракційної ґратки. Засобами математичного моделювання отримано, що

внаслідок дифракції на 2D дифракційній ґратці, орієнтованій довільним чином у просторі, виникають дві дифракційні смуги.

Числову апроксимацію дифракційних смуг для довільних кутів повороту дифракційної ґратки здійснено з використанням модифікованого методу найменших квадратів та методу регресії ортогональних відстаней.

У четвертому розділі приведено результати оцифрування експериментальних даних. За допомогою регресійних методів аналізу даних у загальному аналітичному представленні отримано коефіцієнти розсіяних кривих другого порядку, які найкраще описують дифракційні смуги для конічної дифракції на 1D і 2D дифракційній ґратці. Засобами математичного моделювання визначено відповідні криві другого порядку для заданих кутів падіння променів на ґратку. На цій основі розв'язано обернену задачу – визначення кутових координат джерела лазерного випромінювання (що становить найбільшу цінність для прикладного застосування). Вибором емпіричних параметрів у співвідношеннях запропонованої математичної моделі забезпечено найкраще узгодження побудованих засобами математичного моделювання кривих з експериментальними. Встановлено, що метод регресії ортогональних відстаней є точнішим і універсальнішим методом визначення коефіцієнтів кривих другого порядку у порівнянні з методом найменших квадратів.

У п'ятому розділі запропоновано варіант практичної реалізації системи попередження про небезпеку вогневого ураження на основі волоконно-дифракційного сенсора; система складається з дифракційної ґратки та приймача, що реєструє двовимірне зображення і контролюється компактними мікроконтролерами. Програмне забезпечення для мікроконтролера, який має опрацьовувати дані в реальному масштабі часу із використанням складних алгоритмів аналізу зображень, знаходження регресійних коефіцієнтів, визначення кутових координат джерела лазерного випромінювання за отриманими дифракційними картинками тощо, розроблено в програмному середовищі на базі алгоритмічної мови Python.

Вказано способи і підходи до практичного втілення низки давачів на основі дифракційних ґраток з поліанілінових волокон, які можна інтегрувати в текстильні структури екіпірування військовослужбовця і які придатні для використання в системах попередження про небезпеку вогневого ураження.

Створене програмне забезпечення на основі розробленої математичної моделі взаємодії лазерного випромінювання з волоконною дифракційною ґраткою запропоновано для використання при розробленні фізичного прототипу сигнальних елементів на основі поліанілінових волокон для системи виявлення ворога на ТОВ "Техприлад".

Основні результати досліджень, отримані в дисертації, опубліковано в 22 наукових працях, зокрема 7 статей у наукових фахових виданнях (з них 2 статей опубліковано в періодичних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних WoS або Scopus), 14 тез та доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Ключові слова: математичне моделювання, числове моделювання, обчислювальне моделювання, електромагнітне випромінювання, обернена задача, оптичні властивості, фотоелектричні властивості, оптичні матеріали, полімери, поліанілін, автоматизація, аналітико-числові методи, аналітичні розв'язки, математичні задачі, давачі, оптичні ефекти

ABSTRACT

Vankevych P. P. "Modeling of the propagation of light rays through the elements of fiber diffraction sensors." – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the field of knowledge 11 – Mathematics and statistics in the specialty 113 – Applied Mathematics. – Ya. S. Pidstrygach's Institute of applied problems of mechanics and mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, 2024.

The work solves an important scientific and applied task – the development of a mathematical model and appropriate software for computer simulation of the interaction of light rays with sensitive fiber-diffraction elements of sensor systems

for warning about the danger of fire damage by weapons that use laser systems for targeting.

The object of research is the interaction of light rays with polyaniline fibers of an diffractive sensor.

The subject of the research is mathematical models of the functioning of the signal element of the fiber diffraction sensor integrated into combat equipment

Scientific novelty of the work:

1. A mathematical model for the quantitative description of the interaction of 1D and 2D fiber diffraction gratings with laser radiation was developed.

2. For the first time, the appearance of diffraction bands in the form of scattered curves of the second order (ellipse, hyperbola, parabola), whose shape caused by the phenomenon of conical diffraction and depends on the angle of incidence of the beam on the grating, which made it possible to develop the signal element of the fiber diffraction sensor.

3. For the first time, using the signal element of the fiber-diffraction sensor, the angular positions of the radiation source were mathematically determined, which made it possible to use the developed signal elements to build a system for detecting the radiation source and its positioning in one plane: the source of danger on the left (or above), right (or below).

4. The characteristics of the polyaniline polymer fiber were studied with the help of theoretical and experimental methods adapted to the solution of the task. It is shown the possibility of using such a fiber for the formation of fiber-diffraction microsensors capable of detecting means of fire damage, in which directed laser radiation is used as a probing factor. The possibility of integrating elements of fiber optics into the textile materials of combat equipment of a military serviceman and their modification to the function of registration of optical rays acting from the outside is substantiated.

The practical significance of the obtained results is that they are directly used in the development of a physical prototype of the corresponding signal elements for the construction of a system for detecting means of fire damage and their positioning in relation to the signal element. The structure, composition and

parameters of the signal element of the fiber-diffraction sensor of a promising integrated computer network for detecting radiation locations are also proposed. Sensitive elements of information systems for warning about danger are integrated into combat equipment.

The work consists of an introduction, five chapters, conclusions, a list of used sources and an appendix.

The introduction provides the rationale for choosing the research topic; the goal, object, subject and tasks of the dissertation work are formulated; the scientific novelty and practical significance of the obtained results are reflected; the connection of the work with scientific programs, plans, topics and grants is highlighted. The acquirer's contribution, information on the approval of research results, a list of the acquirer's publications, the structure and scope of the work are also noted.

In the first section, an overview of fiber-diffraction sensors that can be used to diagnose various dangerous situations in real time, in particular, situations of possible fire damage to the military, is performed. An overview of the methods of determining the means of fire damage, that use laser systems for targeting, and possible technical solutions in the armies of NATO member countries is given, as a result of which a conclusion is made about the need for a new development capable of automatically establishing the fact of covert video surveillance and intelligence in difficult conditions of the terrain and to find the location of the source of laser radiation. An important factor in this case is the possibility of its integration into the complex of combat equipment. It is shown and theoretically substantiated that it is possible to use optical fibers made of sensitive polymer materials that are organically integrated into ordinary textile materials. Fabric made of optical fiber is able to deploy a narrow-aperture laser probe ray into a light spot, the spatial distribution of intensity of which depends on the angle of incidence of the ray.

To develop this type of fiber-diffraction hazard warning system, it is necessary to perform a number of experimental studies with the aim of identifying the peculiarities of the interaction of laser radiation with fiber-diffraction elements

of sensor systems and establishing the experimental dependence of the observed phenomena on the angle of incidence of the laser ray on element; to develop a method of numerical approximation of the results of experimental research, to develop a mathematical model for the quantitative description of the processes of interaction of light rays with sensitive fiber diffraction elements of sensor systems, as well as to create appropriate software that will allow in real time to obtain information about the orientation of the sensitive element of the sensor system relative to the falling beam or, in other words, the angular coordinates of the radiation source of the enemy laser guidance system.

The second chapter describes the results of experimental studies carried out in order to identify the features of the interaction of laser radiation with fiber diffraction gratings. To create such lattices, available polyaniline fibers were used, from which it is relatively easy to form both one-dimensional and two-dimensional periodic structures.

Diffraction patterns were experimentally obtained depending on the fixed position of one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) diffraction gratings. The dependence of the obtained diffraction bands on the angle of incidence of the laser beam on the grating was studied. It is shown that the obtained bands have the form of scattered curves of the second order.

Methods of processing digital images are represented, which relate to improving their quality, changing contrast, digital filtering, etc. The operation of selection of contours (borders of image elements) and filtering of digital images is considered in detail. The optimal filters for the problem of contour selection are presented.

In the third chapter, a mathematical model for the quantitative description of the interaction of a 1D diffraction grating with laser radiation is proposed. By means of mathematical modeling, it was found that when the grating is rotated to an angle φ_0 , the result of the interaction of light with the diffraction grating is a diffraction band, which is a cross section of the diffraction cone by the plane of the screen. When the diffraction cone is intersected by the plane of the screen, the shape of the diffraction bands takes the form of scattered curves of the second

order in the form of an ellipse (for angles $\varphi_0 > 45^\circ$), a parabola ($\varphi_0 = 45^\circ$) or a hyperbola ($\varphi_0 < 45^\circ$).

The developed mathematical model is generalized to the case of a 2D diffraction grating. By means of mathematical modeling, it was found that as a result of diffraction on a 2D diffraction grating, oriented arbitrarily in space, two bands appear. Numerical approximation of the diffraction bands for arbitrary rotation angles of the diffraction grating was carried out using the modified method of least squares and the method of orthogonal distances regression. The choice of empirical parameters in the ratios of the proposed mathematical model ensures the best agreement between the curves constructed by means of mathematical modeling and the experimental ones. It was established that the most optimal method of determining the coefficients of the second-order curves is the method of orthogonal distances regression.

The fourth section presents the results of digitization of experimental data. With the help of regression methods of data analysis, in the general analytical representation, the coefficients of the second-order scattered curves, which best describe the diffraction bands for conical diffraction on 1D and 2D diffraction gratings, were obtained. The corresponding curves of the second order for the specified angles of incidence of the rays on the grating were determined by means of mathematical modeling. On this basis, the inverse problem was solved - determination of the angular coordinates of the laser radiation source (which is of the greatest value for practical application).

With the help of regression methods of data analysis, in the general analytical representation, the coefficients of the second-order scattered curves, which best describe the diffraction bands for conical diffraction on 1D and 2D diffraction gratings, were obtained. The second-order curves and the angles of rotation of the diffraction grating were determined by means of mathematical modeling. The choice of empirical parameters in the ratios of the proposed mathematical model ensures the best agreement between the curves constructed by means of mathematical modeling and the experimental ones. It was established that the method of regression of orthogonal distances is a more accurate and universal

method of determining the coefficients of second-order curves in comparison with the method of least squares.

In the fifth chapter, a variant of the practical implementation of a fire hazard warning system based on a fiber-diffraction sensor is proposed; the system consists of a diffraction grating and a receiver that registers a two-dimensional image and is controlled by compact microcontrollers.

The software for the microcontroller, which must process data in real time using complex algorithms for image analysis, finding regression coefficients, determining the angular coordinates of the laser radiation source based on the received diffraction patterns, etc., is developed in a programming environment based on the Python algorithmic language.

Methods and approaches to the practical implementation of a number of sensors based on diffraction gratings made of polyaniline fibers, which can be integrated into the textile structures of a military serviceman's equipment and which are suitable for use in fire hazard warning systems, are indicated

The created software based on the developed mathematical model of the interaction of laser radiation with a fiber diffraction grating is proposed for use in the development of a physical prototype of signal elements based on polyaniline fibers for the enemy detection system at "Tehprylad" LLC.

The main research results received in the dissertation have been published in 22 scientific papers, including 7 articles in scientific professional publications (of which 2 articles have been published in periodicals included in the international scientometric databases WoS or Scopus), 14 theses and reports were published in conference proceedings.

Key words: mathematical modeling, numerical modeling, computational modeling, electromagnetic radiation, inverse problem, optical properties, photoelectric properties, optical materials, polymers, polyaniline, automation, analytical and numerical methods, analytical solutions, mathematical problems, sensors, optical effects

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Ванкевич П.П., Дегтяренко В.В., Дробенко Б.Д., Настишин Ю.А. Оптоволоконна тканина як елемент сигнальних систем. *Військово-технічний збірник*. 2020. Вип. 23. С. 65–74. DOI:10.33577/2312-4458.23.2020.65-74.
2. 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.44–49. DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).44-49](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).44-49).
3. 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. 134–144. DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.13.2.134-144>.
4. 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.
5. 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>.
6. 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>.

7. Ванкевич П.П., Фтомин Н.Є. Трансформація сигналів генерованих сенсорами волоконної оптики в системах попередження вогневого ураження. *Збірник наукових праць Військової академії*. 2023. № 2(20), Ч. 2. С.125-131. <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2023.20.125-130>.
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 № u 2018 11993; заявл. 03.11.2018; опубл. 10.04.2019, № 7. 3 с.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. 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.
2. 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.
3. Karustianyk V.B., 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.
4. 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.
 5. 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.
 6. 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.
 7. 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.
 8. 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.
 9. 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.
10. 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.
 11. 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.
 12. 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.
 13. 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.
 14. 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.