

УДК 535(031):358.11

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).44-49](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).44-49)**П. П. ВАНКЕВИЧ**, *магістр*<https://orcid.org/0000-0001-8674-901X>*(Львівський національний університет  
ім. І. Франка, м. Львів)***Є. Г. ІВАНИК**, *кандидат фізико-математичних  
наук, старший науковий співробітник*<https://orcid.org/0000-0001-7990-0957>**В. В. ДЕГТЯРЕНКО**, *ад'юнкнт*<https://orcid.org/0000-0002-3263-410X>**В. В. ФЕДОРЕНКО**, *старший науковий  
співробітник*<https://orcid.org/0000-0002-1915-5139>*(Національна Академія Сухопутних військ  
ім. гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)*

## Система попередження про небезпеку на основі елементів волоконної оптики, інтегрованих в бойове екіпірування

В статті обґрунтовано можливість інтегрування елементів волоконної оптики в текстильні матеріали бойового екіпірування військовослужбовця та їх модифікацію під функцію реєстрації зовнішніх прицільно спрямованих оптичних променів. Технічна суть систем попередження про небезпеку полягає у тому, що на елементи одягу та захисної амуніції військовослужбовця закріплюють (чи вживляють в них) чутливі елементи волоконно-оптичних приймачів світлових променів, які випромінюються в їхньому напрямку прицільними засобами противника і на які ці приймачі здатні реагувати. Поставлено завдання дослідити можливість створення системи попередження про небезпеку вогневого ураження на основі особливих властивостей елементів волоконної оптики, здатних передавати промені в оптичному діапазоні електромагнітного випромінювання. Дано опис оригінальної технічної розробки сигнального засобу, оснащеного волоконно-оптичними елементами нового типу, що дозволяє сформувати стійку систему попереджувальних сигналів від оптичних випромінювань стрілецького спорядження або панорамного огляду противника. Проведення натурних випробувань з метою адаптації розробленої схеми під вирішення завдання в реальних умовах ведення бойових дій щодо виявлення джерела небезпеки здійснювалось за допомогою квантового випромінювача типу далекоміра артилерійської розвідки, комплекту лінз та світлофільтрів. Текстильні матеріали для одягу та спорядження з волоконно-оптичними системами можуть бути отримані традиційним шляхом текстильного виробництва з використанням спеціальних полімерних ниток. Комплексні експериментальні випробування розробленого конструктивного вирішення електронної схеми виявлення і повідомлення про небезпеку дозволяють набутти досвід проектування та впровадження у виробництво комплектуючих елементів сучасних комплексів бойового екіпірування.

Ключові слова: бойове екіпірування, текстильна основа, квантова електроніка, сенсори, волоконно-оптичні системи, сигнальний елемент, реєстрація зовнішніх прицільно-спрямованих світлових променів, спеціальні технічні засоби виявлення об'єктів противника, електромагнітне випромінювання, точкові світлочутливі елементи, фотоелемент, алгоритм, виявлення оптичного квантового випромінювання, лінійно-частотна модуляція.

### ВСТУП

Рішучість і висока маневреність бойових дій, швидка та різка зміна обстановки в умовах вогневого ураження противника вимагають від військовослужбовців активних, сміливих та ініціативних дій, високої організованості із залученням найсучаснішого бойового екіпірування з використанням оснащення, створеного на базі найновіших досягнень інформаційних та електронних технологій. Тому сьогодні з усією повнотою постає проблема створення відповідних спеціальних технічних засобів виявлення об'єктів противника, з яких ведеться спостереження з використанням спрямованого електромагнітного випромінювання. Особливо актуальним є виявлення позицій снайперів, прицільні засоби яких, здебільшого, є приладами квантової електроніки та генерують електромагнітне випромінювання. У зв'язку з цим важливого значення набуває проведення комплексу організаційно-технічних заходів, спрямованих на своєчасне виявлення оптичних приладів прицілювання і спостереження противника та їх придушення в інтересах збереження життя військовослужбовців і, в кінцевому підсумку, забезпечення результативності проведення бойових дій своїх підрозділів.

Поставимо завдання дослідити можливість конструктивного рішення на основі особливостей технічної сутності сенсорно-інформаційних систем, що полягає у закріпленні (чи умонтуванні) на найбільш імовірно вразливих ділянках тіла військовослужбовця на його елементи одягу та захисної амуніції чутливих елементів фотометричних приймачів променів, які випромінюються в його напрямку прицільними засобами противника, на які ці сенсори здатні реагувати, і створення сигнального елемента.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У доступній широкому загалу науково-технічній літературі присутня значна кількість публікацій про принципи побудови лазерних оптико-електронних приладів виявлення оптичних прицілів та приладів спостереження снайперів противника, однак догичні до військової справи результати наукових досліджень, як правило, до відкритих джерел не потрапляють.

Актуальною проблемою сьогодення є удосконалення мобільної системи оптичної розвідки, призначеної для виявлення локації снайперів, спостерігачів, артилерійських коригувальників, у тому числі і замаскованих, оснащених оптичними прицілами (приладами), а також артилерійських гармат, установок для ведення вогню високоточною зброєю, бронетехніки, спостережних і командних пунктів, вимірювання дальності до виявлених цілей [1–5]. Прилади (пристрої) такого типу призначені для цілодобового спостереження за оточуючим середовищем в умовах світлових перешкод або значного рівня світлового фону (його відсутності), а також в інших умовах, які утруднюють або виключають спостереження неозброєним оком. За їх допомогою можна виявляти оптичні прилади спостереження (прицілювання) та оцінювати дальність до них. Їх принцип дії заснований на використанні фізичного ефекту світлоповертання, що полягає в здатності оптичних систем відбивати

зондує випромінювання у зворотному напрямі під кутом, близьким до кута його падіння, тобто підсвічування лазером і вловлювання відбитого зображення з подальшою обробкою цього сигналу [5].

Тому проблема підвищення безпеки особового складу шляхом розроблення спеціального елемента бойового оснащення у вигляді засобу попередження, який здатний сигналізувати про небезпеку з боку противника, оснащеного високоточною зброєю та сучасним військово-технічним обладнанням, тобто завчасне попередження бійця про те, що він потрапив у приціл снайпера, має вагоме практичне значення. Цієї мети можна досягнути шляхом застосування сигнальних елементів, здатних завчасно виявити і подати попередження про небезпеку.

Також можна відзначити роботи [6–9], де представлено результати нових розробок з волоконно-оптичних мікросенсорів, та можливості їх інтеграції в елементи бойового екіпірування, оскільки ці давачі здатні реагувати на різного роду загрози на полі бою в режимі реального часу. При цьому розглянуто питання опису оптичних аберацій, викликаних розузгодженням показників заломлення світлових променів середовищ.

**Мета статті** – удосконалення бойового екіпірування за рахунок включення структурних елементів, побудованих на основі системи попередження про небезпеку з використанням волоконно-оптичних давачів, параметри та характеристики яких можуть змінюватися в широкому діапазоні, що дає можливість інтегрувати їх в текстильні структури та за характеристиками прийнятого сигналу (величина потужності, напруга, частота) виявляти фактор небезпеки.

## СТВОРЕННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО НЕБЕЗПЕКУ

Сканування об'єктів противника цілеспрямованим електромагнітним випромінюванням, в основному, проводиться в інфрачервоному діапазоні хвиль, тому в основі роботи відповідного приладу приймається принцип використання функції лінійної частотної модуляції (ЛЧМ). З теоретичних основ класичної радіотехніки та електродинаміки [10, 11] відомо, що сигнал з ЛЧМ є синусоїдою з частотою, яка змінюється неперервно в межах визначеного діапазону частот  $\Omega$ :  $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$  та часу з періодом  $0 \leq t \leq M$ . У натурних випробуваннях використовувався сигнал, зміна напруги в часі якого визначається виразом  $u(t) = A \cos \left[ \omega_1 t + (\omega_2 - \omega_1) \frac{t^2}{2M} \right]$  причому миттєва частота в цьому сигналі визначається шляхом диференціювання аргументу цього виразу за часом  $t$ , тобто:  $\omega_1 + (\omega_2 - \omega_1) \frac{t}{M}$ .

З цієї залежності видно – миттєва частота збільшується від нижньої до верхньої межі цього діапазону. Вказана обставина дає змогу при подачі сигналу в систему здійснювати позитивний контроль над діапазоном частоти збурення і тому часто використовується для ідентифікації систем. Наступним етапом має бути вироблення процедури формування алгоритму виявлення, розпізнавання та вимірювання квантів енергії оптичного квантового випромінювання.

Принципи волоконно-оптичних сенсорів ґрунтуються на модифікації світлового сигналу зовнішньою дією, що поширюється в оптоволоконній системі. Світлове випромінювання нечутливе до електромагнітних завад, а тому волоконно-оптичні сенсори є саме таким рішенням для надійного функціонування в умовах потужних електромагнітних завад. Без сумніву, сенсори потрібні для моніторингу фізіологічного стану військовослужбовця [6], але можна і розширити їхні функціональні можливості, а саме, – волоконно-оптичні сенсори можна модифікувати для реєстрації зовнішніх прицільних світлових променів, наприклад, від снайперської зброї. Тобто замість світлового сигналу від внутрішнього вмонтованого джерела світла в систему потраплятиме зовнішній світловий сигнал від прицільних засобів противника. Для цього потрібно вживити в систему натільних оптоволоконних сенсорів колектори зовнішнього прицільного випромінювання. Для заміни суцільного тонкоплівкового фотоелемента відповідної площі матрицею дискретних точкових фотоприймачів та зменшення щільності їхнього розміщення в матриці пропонується технічне рішення, яке дозволяє розгорнути світлову точку в смугу, використовуючи дифракційно-розсіювальну здатність системи паралельних оптичних волокон. Така модифікація дозволить знизити цінову вартість виробу і сприятиме покращенню характеристик комфорту «розумних» тканин, в які ці оптоволоконні системи індивідуального захисту вживлені.

Бойові дії часто доводиться проводити в нічний час, розраховуючи на часткову скритність. Однією з основних небезпек для особового складу є наявність у противника панорамного обсерватора (спостережника) або снайпера. Поведінка снайпера залежить від його завдання і зазвичай спеціалізується на виборі «цілі» та 100% її ураженні. В нічний час для особового складу така бойова одиниця противника є особливо небезпечною ще й тому, що за професійними характеристиками вона може знаходитись на близькій відстані від місця дислокації наших підрозділів, що в свою чергу підвищує ризик ураження «цілі». Детальний аналіз тактичної поведінки підрозділу в подібній ситуації дозволяє використати відповідне теоретичне підґрунтя для вирішення конструктивних особливостей системи попередження про небезпеку військовослужбовців від вогневого ураження.

Суть розробленої системи попередження про небезпеку пояснюється ілюстративним матеріалом, відображеним на рис. 1. Сигнальний елемент містить гнучку оболонку з світлочутливого матеріалу 1, наприклад, отриманий шляхом ткацького виробництва з полімерних волокон (ниток) або з будь-якого іншого натурального чи синтетичного матеріалу з вмонтованими полімерними волокнами. На поверхні тканини (сегмент 1 гнучкої оболонки) закріплені точкові світлочутливі елементи 2 таким чином, що їх світлочутлива робоча поверхня контактує з поверхнею тканини гнучкої оболонки. Світлочутливими елементами 2 можуть бути стандартні фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори тощо. Сигнальний елемент комплектується провідниками 3,

засобами підсилення 4 та індикації 5 електричних сигналів.

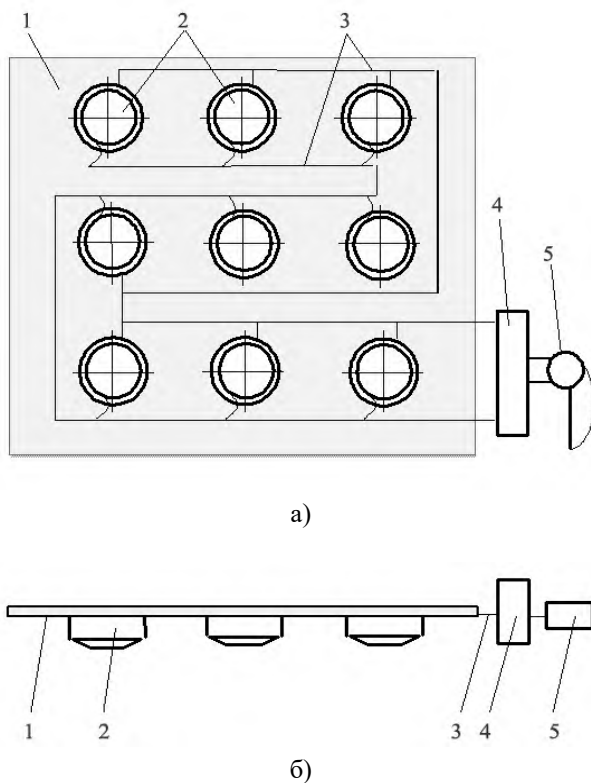


Рис. 1. Сигнальний елемент: а) загальний вигляд; б) вигляд зверху: 1 – сегмент гнучкої оболонки; 2 – точкові світлочутливі елементи; 3 – провідники; 4 – засоби підсилення, 5 – засоби індикації

В роботі розвинуто ідею, на якій базуються основні принципи функціонування волоконно-оптичних пристроїв, що полягає в заміні пасивного зовнішнього шару текстильної основи на активні або чутливі матеріали, якими є полімерні волокна. Світловий сигнал, що потрапив у чутливий елемент, далі передаватиметься по оптичних волокнах до точкових світлочутливих елементів. В системі обробки електричного сигналу, що передається від фотоелементів до засобів підсилення, використано засоби звукової гарнітури, що перетворюватимуть електричний сигнал в звуковий сигнал «індивідуальної тривоги», що створюється в навушниках. Сигнальними чутливими елементами інформаційної системи є еластичні компоненти різноманітної конфігурації та форми, залежно від того, на яких ділянках одягу чи екіпірування вони кріпляться. Наприклад, чутливі елементи для обладнання захисних шоломів мають форму шапочки з розмірами, що забезпечують її розміщення на зовнішній поверхні шолома.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ І ВИСНОВКИ

Система попередження про небезпеку працює наступним чином. Сигнальний елемент (один або декілька) прикріплюється на зовнішніх поверхнях бойового екіпірування (одягу, шолому, бронезахисту). При попаданні променів, які випромінюються прицільними

засобами стрілецької зброї противника на систему активного захисту, сигнальний елемент дозволяє зареєструвати їх та відповідно реагувати. Оптичний сигнал реєструється гнучкою оболонкою 1 зі світлочутливого матеріалу з вмонтованими полімерними волокнами, яка поширює його і передає на точкові світлочутливі елементи 2. Безпосередній контакт світлочутливої робочої поверхні точкових світлочутливих елементів 2 із поверхнею гнучкої оболонки 1 приводить до трансформації оптичного сигналу в електричний, який за допомогою провідників 3 передається до електричної схеми, підсилюється засобами підсилення 4 і конвертується засобами індикації 5 в стандартний світловий або звуковий сигнал «тривоги», який однозначно свідчить про небезпеку можливого ураження.

Для формування схеми використовувалась така елементна база: фотодіоди: ФД263-01, KDF-105A, KDF-115A, VS1838B, GM3537-2; LM393 – модуль компаратор; 2N2222 – транзистори; електролітичні конденсатори CD110×2,5-20,0 мкФ, конденсатори Y2 пФ, нФ; резистори, елемент живлення (батареїки) – CR-2032, LR-44, крона; макетна плата; набір макетних провідників.

Проведення натурних випробувань з метою адаптації розробленої схеми під вирішення завдання в реальних умовах ведення бойових дій щодо виявлення та розпізнання цілей виконувалось за допомогою приладу ЛПП-1 (квантовий далекомір) артилерійської розвідки та комплекту лінз, світлофільтрів і балістичних окулярів.

На проміжному етапі досліджень проведено ряд експериментальних випробувань з метою імітації фіксування дальності реєстрації випромінюваного квантового імпульсу. Випробувальна експериментальна установка містить: спеціально розроблений для поставленої мети реєстратор квантових імпульсів; світлофільтри (в якості світлофільтрів та імітаторів лінії затримки і лінії дальності до цілі використовувались балістичні окуляри в комплекті з набором світлофільтрів); в якості поглинаючого середовища і середовища поширення світлових променів під час експерименту використовувались гофрований поліетилен, непрозорі котоново-шовкові матеріали товщиною 1–2,2 мм, ксероксний папір; мішень, в центрі якої під час експериментів закріплювали напівпровідниковий фотосенсор; далекомір типу ЛПП1-М на штатному кутомірі.

Під час регулювання параметрів вимірювальної системи поступово вводились в дію (шляхом додаткового компонування) перераховані фотозагороджувальні засоби, до завершення експерименту використавши всі світлові засоби. При цьому, в кінцевому підсумку, відбувалась реєстрація розробленою системою без жодного пропуску цілі.

Отримані експериментально показники в табл. 1 ілюструють взаємозв'язок між дальністю до цілі та кутом відхилення від неї при спрямуванні квантового випромінювача (знаками плюс та мінус показано результат реєстрації або його відсутність сигналів відповідно).

Таблиця 1  
Допустимі кути відхилення далекоміра від напрямку на ціль

Відхилення від цілі (град)	Дальність до цілі (м)			
	100	1000	3000	10000
4°	-	-	-	-
3°	-	-	-	-
2°	+	+	-	-
1°	+	+	+	+

Таким чином, експериментально підтверджено можливість реєстрації імпульсу, випромінюваного квантовим далекоміром, здатного працювати в діапазоні хвиль, довжиною 0,9–1,8 мкм.

Геометричні та механічні характеристики волоконно-оптичних елементів можуть змінюватися в широкому діапазоні, що дає можливість їх інтеграції в текстильні структури. За міцністю, еластичністю та довговічністю такі матеріали практично нічим не відрізняються від традиційних тканин та не поступаються їм за всім спектром властивостей, притаманним такого роду виробам.

Текстильні матеріали для одягу та спорядження з волоконно-оптичними системами можуть бути отримані традиційним шляхом текстильного виробництва при використанні спеціальних полімерних ниток. На основі модульного системного підходу такі давачі можуть бути інтегровані у військову форму та елементи бойового екіпірування військовослужбовців.

У звичайних тканинах нитки є непрозорими для видимого світла, а тому значна частина світлової енергії поглинатиметься, що знижує ефективність детектування. Якщо ж тканину, або вставки до неї у місцях, де розміщені фотодетектори, виготовити із прозорого полімерного волокна, та така тканина не тільки пропускати світло, а й значно сильніше розсіюватиме його за рахунок розфокусування та оптоволоконного ефекту. Кожне окреме полімерне волокно відіграватиме роль циліндричної лінзи, розгортаючи лазерний промінь з точковим перерізом у смужку, товщина якої рівна діаметру перерізу лазерної плями, а довжина визначатиметься відстанню від волокна до екрану та оптичним фокусом циліндричної лінзи волокна.

Завдяки тому, що показник заломлення волокна значно вищий від показника заломлення повітря, кожна нитка відіграватиме роль оптичного волокна, в яке світло заходить та при косому падінні (відносно довгої осі волокна) внаслідок ефекту повного внутрішнього відбивання поширюється вздовж волокна. В ідеальному оптичному волокні світло поширювалось би без втрат та без витoku з нього, але в реальних волокнах внаслідок недосконалості поверхні частина світлової енергії просочуватиметься із волокна, тим самим розгортаючи переріз променя із квазіточкового з просторовою розмірністю 0D в квазілінійний із просторовою розмірністю 1D, якщо волокна розміщені паралельно чи квазі-паралельно одне до одного. Якщо ж волокна розміщені так, як у типовій тканині, тобто утворюючи квадратну сітку, то розсіяна світлова пляма матиме більш складну

2D геометрією. А це означає, що щільність заповнення фотоприймачами можна понизити у відповідну кількість разів.

Проведений цикл експериментальних випробувань розробленого конструктивного рішення електронної схеми виявлення і повідомлення про небезпеку дає змогу набутися досвід проектування та виробництва комплектуючих елементів сучасних комплексів бойового екіпірування. Розроблювана компонента бойового екіпірування збільшить ефективність дій окремого військово-службовця та його живучість завдяки застосуванню сучасних наукоємних технологій, у тому числі інформаційних систем.

У перспективі планується виконати низку досліджень з кількома типами спеціальних полімерних волокон, – це світлопровідні полімери, що володіють адекватними світлооптичними та механічними характеристиками і являються основою давачів і матеріалів, чутливих до зовнішніх збурюючих факторів, які наносяться на поверхню полімерів, а також розробити відповідний алгоритм, що аналітично здійснюватиме визначення положення й дальності до фактора небезпеки.

#### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Алексеев А., Колобов Е. Лучшие военные инновации в США в 2010 году. Зарубежное военное обозрение. 2011. № 3. С. 91–92.
2. Глотов В. М., Макаревич В. Д. Виявлення місця розташування спалаху пострілу. Наук.-техн. зб. Львів: НУЛП. 2017. С. 48–56.
3. Ванкевич П. П., Іваник Є. Г., Ільків І. М. Створення інформаційної системи сигналізації про небезпеку з підтримання ефективного виконання спеціальних бойових дій. Нац. акад. Нац. гвардії України. Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: зб. тез доповідей наук.-практ. конф. Харків, 15–16 березня 2017 р. С. 28–30.
4. Сильников М. В., Байдак В. И. Состояние, перспективы развития и унификации носимого вооружения и боевой индивидуальной экипировки. Защита и безопасность. 1998. № 3(6). С. 7–9.
5. Land Warrior Integrated Soldier System, United States of America. News, views and contacts from the global Army industry, available at: [http://www.army-technology.com/projects/land\\_warrior/](http://www.army-technology.com/projects/land_warrior/).
6. El-Sherif, M.A., Yuan, J. & Macdiarmid, A. (2000). Fiber Optic Sensors and Smart Fabrics. J. of Intelligent Material Systems and Structures. Vol. 11. Iss. 5. P. 407. <https://doi.org/10.1106/MKNK-E482-GWUG-0HE7>.
7. Yuan, J. & El-Sherif, M.A. (1999). Development of on-fiber optical sensors utilizing chromogenic materials. Proc. Process Monitoring with Optical Fibers and Harsh Environment Sensors. Vol. 3538. 9 p. <https://doi.org/10.1117/12.335755>.
8. Nastyshyn, S. Yu., Bolesta, I. M., Lychkovskyy, E., Vankevych, P. I., Yakovlev, M. Yu., Pansu, B. & Nastyshyn, Yu. A. (2017). Ray tracing matrix approach

- for refractive index mismatch aberrations in confocal microscopy. *Applied Optics*. Vol. 56. Iss. 9. Pp. 2467–2475. <https://doi.org/10.1364/AO.56.002467>.
9. Kostruba, A., Stetsyshyn, Y., Mayevska, S., Yakovlev, M., Vankevych, P., Nastyshyn, Y. & Kravets, V. (2018). Composition, thickness and properties of grafted copolymer brush coatings determined by ellipsometry: calculation and prediction. *Soft Matter*. Vol. 14. Pp. 1016–1025. <https://doi.org/10.1039/c7sm02285a>.
  10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. *Электродинамика сплошных сред*. М.: Физматгиз. 1959. 532 с.
  11. Федоров Н. Н. *Основы электродинамики: учеб. пособие для вузов*. М.: Высшая школа. 1980. 399 с.

## REFERENCES

1. Alekseev, A. & Kolobov, E. (2011), “Luchshie voennye innovacii v SSHA v 2010 godu” [The best military innovation in USA in year 2010], *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. № 3, pp. 91–92.
2. Glotov, V. M. & Makarevich, V. D. (2017), “Viiavleniya miscia roztashuvannia spalahu postrilu” [Discovery of the place dislocation of the fire shoot], *Nauk.-tehn. zb. Lviv: NULP*, pp. 48–56.
3. Vankevich, P. P., Ivanyk, E. G. & Ilkiv, I. M. (2017), “Stvorennia informacii noi sistemi signalizacii pro nebezpeku z pidtrimannia efektyvnoho vikonannia specialnih boiovyh dii” [Creation of an information system of danger alarms to support the effective execution of special fighting], *Nac. akad. Nac. gvardii Ukrainy. Zb. tez dopovidei naukovo-praktychnoi konf. «Zastosuvannia informacii nyh tehnologii u pidgotovci ta diialnosti sil ohorony pravoporyadku»*. Harkiv, 15-16 bereznia. Pp. 28–30.
4. Silnikov, M. V. & Baidak, V. I. (1998), “Sostoianie, perspektivy razvitiia i unifikacii nosimogo vooruzheniia i boevoi individualnoi ekipirovki” [Status, prospects for the development and unification of portable weapons and combat personal equipment], *Zashita i bezopasnost*. № 3(6). Pp. 7–9.
5. Land Warrior Integrated Soldier System, United States of America. News, views and contacts from the global Army industry, available at: [http://www.army-technology.com/projects/land\\_warrior/](http://www.army-technology.com/projects/land_warrior/).
6. El-Sherif, M.A., Yuan, J. & Macdiarmid, A. (2000). Fiber Optic Sensors and Smart Fabrics. *J. of Intelligent Material Systems and Structures*. Vol. 11. Iss. 5. P. 407. <https://doi.org/10.1106/MKNK-E482-GWUG-0HE7>.
7. Yuan, J. & El-Sherif, M.A. (1999). Development of on-fiber optical sensors utilizing chromogenic materials. *Proc. Process Monitoring with Optical Fibers and Harsh Environment Sensors*. Vol. 3538. 9 p. <https://doi.org/10.1117/12.335755>.
8. Nastyshyn, S. Yu., Bolesta, I. M., Lychkovskyy, E., Vankevych, P. I., Yakovlev, M. Yu., Pansu, B. & Nastyshyn, Yu. A. (2017). Ray tracing matrix approach for refractive index mismatch aberrations in confocal

microscopy. *Applied Optics*. Vol. 56. Iss. 9. Pp. 2467–2475. <https://doi.org/10.1364/AO.56.002467>.

9. Kostruba, A., Stetsyshyn, Y., Mayevska, S., Yakovlev, M., Vankevych, P., Nastyshyn, Y. & Kravets, V. (2018). Composition, thickness and properties of grafted copolymer brush coatings determined by ellipsometry: calculation and prediction. *Soft Matter*. Vol. 14. Pp. 1016–1025. <https://doi.org/10.1039/c7sm02285a>.
10. Landau, L. D. & Lifshic, E. M. (1959). “Elektrodinamika sploshnyh sred” [Electrodynamics of continuous continuum], *Fizmatgiz*, M. 532 p.
11. Fedorov, N. N. (1980). “Osnovy elektrodinamiki: Ucheb. posobie dlya vtuzov” [The basic of electrodynamics: training applications for higher educational institutes], *Vysshaia shkola*, M. 399 p.

**Vankevych P., Ivanyk E., Dehtiarenko V., Fedorenko V.**

## DANGER WARNING SYSTEM BASED ON FIBER OPTICS ELEMENTS INTEGRATED IN BATTLE EQUIPMENT

*The article substantiates the possibility of integrating elements of fiber optics into the textile materials of military equipment of combat personnel and their modification under the function of registration of external aiming optical beams. The technical essence of hazard warning systems is that the elements of clothing and protective ammunition of the serviceman are attached (or implanted in them) to the sensitive elements of fiber-optic light-beam receivers, which are emitted in their direction by the target means of the enemy and to which these receptors are attached. The task is to investigate the possibility of creating a system of warning of the danger of fire damage based on the special properties of elements of fiber optics, capable of transmitting rays in the optical range of electromagnetic radiation. The paper provides a description of the original technical development of the signaling tool, equipped with the fiber-optic elements of a new type that allows forming a stable system of warning signals out of the small arms optical radiation or panoramic inspection of the enemy. Conducting field tests in order to adapt the developed scheme to solve the task in real conditions of warfare to identify the source of danger were performed using a quantum radiator such as a rangefinder artillery reconnaissance, lens kit and filters. Textile materials for clothing and equipment with fiber-optic systems can be obtained in the traditional way of textile production with the use of special polymer filaments. Complex experimental tests of the developed design solution of electronic circuit detection and notification of danger allow gaining experience of designing and introducing into the production of complete sets equipment.*

*Keywords: military equipment, quantum electronic, textile base, sensors, fiber-optic systems, signal element, registration of external sight-directed light rays, special technical means of object detection of the enemy, electromagnetic radiation, spot light-sensitive elements, photoelement, algorithm of the find out of the quantum energy of optical quantum radiation, linear frequency modulation.*

**Відомості про авторів:****Ванкевич Петро Петрович**

магістр прикладної фізики  
Львівського національного університету  
ім. І. Франка, м. Львів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3849-5585>  
e-mail: vpdedykto@ukr.net

**Information about the authors:****Petro Vankevych**

Magister of Department of Applied Physics,  
Ivan Franco Lviv National University,  
Lviv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3849-5585>  
e-mail: vpdedykto@ukr.net

**Іваник Євгеній Григорович**

кандидат фізико-математичних наук  
старший науковий співробітник  
старший науковий співробітник науково-дослідного відділу  
навчально-тренувальних засобів та бойового екіпірування  
Наукового центру Сухопутних військ Національної академії  
сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного,  
м. Львів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-7990-0957>  
e-mail: givanyk54@gmail.com

**Eugene Ivanyk**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences  
Senior Research  
Senior of Scientific Worker of Scientific Research Department of  
Teach and Training Devices and Military Equipment Scientific  
Center of the Army Hetman Petro Sahaidachnyi National Army  
Academy,  
Lviv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-7990-0957>  
e-mail: givanyk54@gmail.com

**Дегтяренко Віталій Васильович**

підполковник  
ад'юнкт штатний науково-організаційного відділу  
Національної академії сухопутних військ імені гетьмана  
Петра Сагайдачного,  
м. Львів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3263-410x>  
e-mail: vivad\_vdv@ukr.net

**Vitalyi Dehtiarenko**

Lieutenant-colonel  
Permanent Adjunct of scientific organizational Department of  
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,  
Lviv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3263-410x>  
e-mail: vivad\_vdv@ukr.net

**Федоренко Віталій Васильович**

старший науковий співробітник науково-дослідного відділу  
навчально-тренувальних засобів та бойового екіпірування  
Наукового центру Сухопутних військ Національної академії  
сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного,  
м. Львів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1915-5139>  
e-mail: wvfedorenko@gmail.com

**Vitalyi Fedorenko**

Senior of Scientific Worker of Scientific Research Department of  
Teach and Training Devices and Military Equipment Scientific  
Center of the Army Hetman Petro Sahaidachnyi National Army  
Academy,  
Lviv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1915-5139>  
e-mail: wvfedorenko@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 12.02.2020.