

Аналіз електричних та магнітних властивостей напівпровідникових кристалів типу InSe, інтеркальованих металами, з огляду на їх військове застосування

Б.О. Середюк

У статті виконаний аналіз перспектив застосування магніторезистивних структур на основі напівпровідникових кристалів типу InSe для прецизійного вимірювання магнітного поля. Розглянуто можливість застосування сенсорів магнітного поля на основі структури InSe для виявлення військової бронетехніки. Досліджено вплив домішок металів на шарувату структуру напівпровідникового матеріалу як на сильний ковалентний зв'язок всередині шару, так і на слабкий Ван-дер-Ваальсовий зв'язок у міжшаровому просторі. Проаналізовано діаграми Найквіста для кристалу In_4Se_3 з домішками хрому, міді та германію при різних температурах – від кімнатної до температури рідкого азоту. Обґрунтовано вплив домішки металу та її концентрації на електричні та магнітні властивості напівпровідникових кристалів типу InSe.

Ключові слова: напівпровідник, імпеданс, магнітне поле, наноструктури.

Анализ электрических и магнитных свойств полупроводниковых кристаллов типа InSe, интеркалированных металлами, с точки зрения их военного применения

Б.О. Середюк

В статье выполнен анализ перспектив применения магниторезистивных структур на основе полупроводниковых кристаллов типа InSe для прецизионного измерения магнитного поля. Рассмотрена возможность применения сенсоров магнитного поля на основе структуры InSe для обнаружения военной бронетехники. Исследовано влияние примесей металлов на слоистую структуру полупроводникового материала, как на сильную ковалентную связь внутри слоя, так и на слабую Ван-дер-Ваальсовую связь в межслоевом пространстве. Проанализированы диаграммы Найквиста для кристалла In_4Se_3 с примесями хрома, меди, и германия при различных температурах от комнатной до температуры жидкого азота. Обосновано влияние примеси металла и его концентрации на электрические и магнитные свойства полупроводниковых кристаллов типа InSe.

Ключевые слова: полупроводник, импеданс, магнитное поле, наноструктуры.

УДК 687.03:658.5

П.П. Ткачук, А.Д. Черненко, П.І. Ванкевич, Є.Г. Іваник

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ КОМПЛЕКТУ БОЙОВОГО ЕКІПРУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

З використанням елементів теорії нечітких відношень та методу аналізу ієрархій розроблено розрахункову схему отримання обґрунтованої комплексної оцінки текстильних матеріалів, призначених для комплектування бойового екіпування бійця. За визначальну характеристику взято якість тканини, покладеної в основу формування одягу військовослужбовця. Прийнято до уваги десять критеріїв, що характеризують функціональність польової форми з урахуванням специфіки виконуваних бойових задач, на основі яких отримано кількісні параметри наявних типів текстильних матеріалів.

Ключові слова: текстиль, бойове екіпування, камуфляжні тканини, функціональне призначення, якісні і кількісні показники оцінки бойового екіпування, критерії функціональності, теорія прийняття рішень, теорія нечітких відношин, матриці порівнянь, ранжування критеріїв функціональності.

Вступ

На сьогодні в країнах НАТО (особливо США та Великобританії) відзначається нова тенденція: більше 60% всіх військових закупівель

направляється на індивідуальний захист військово-службовців – особливо розвідників, піхотинців, інженерів, техніків-механіків, тобто всіх тих, хто безпосередньо бере участь у бойових діях. Тому цільова структура військового бюджету країни має

відображати тенденції, що намітились у питанні фінансування армії відповідно до військової стратегії і довгостроковими програмами боротьби з проявами тероризму; в зв'язку з цим постає проблема вироблення нових підходів матеріального забезпечення Збройних Сил, які мають на меті оптимізувати неминуче зростаючі витрати з урахуванням складених пропорцій фінансування розбудови Збройних Сил України [1–3]. На даний час в армії США тривають роботи зі зменшення ваги викладки, а також роботи, спрямовані на зручність її носіння. Сьогодні над цим питанням працює велика кількість комерційних фірм, які постійно демонструють оновлені зразки.

Аналіз досліджень і публікацій

Незважаючи на значні успіхи останніх років у збільшенні обсягу виробництва, розширенні асортименту і підвищенні якості текстильних матеріалів їх рівень за вказаними показниками і структура асортименту багатьох видів матеріалів, і насамперед матеріалів для військової форми одягу, поки що не відповідає сучасним вимогам. Такому стану сприяє недосконалість методик для встановлення значень відповідних показників матеріалів одягу, особливо кількісного складу. Загальновідомим фактом є те, що волокнистий склад камуфляжних тканин визначається оптимальним співвідношенням бавовни і поліефірного волокна. У процесі оздоблення камуфляжних матеріалів використовуються різні види текстильно-допоміжних речовин і апретів, різноманітні барвники. Аналізуючи цю первинну інформацію про військову форму, можна зробити припущення, що вона не відповідає повною мірою вимогам безпеки стосовно одягу. Основними причинами є: у більшості випадків у складі камуфляжних матеріалів поряд з натуральним використовується синтетичне волокно; камуфляжний матеріал повинен мати підвищену зносостійкість, а з цього випливає, що він має оброблятися певними видами технологічних обробок, що передбачає застосування різноманітних апретуючих речовин та дії відповідних фізичних полів (термообробка, сушка тощо).

Говорячи про безпеку текстильних матеріалів, а саме про тканини військової форми одягу, необхідно чітко визначити, який негативний вплив може мати військова форма одягу на організм людини та оточуюче середовище [1–5]; за результатами проведених оцінок виявлено, що необхідно враховувати факт непрямого впливу об'єкта експлуатації військової форми на людину на всіх технологічних етапах її виробництва. Цей вплив стосується не лише людини, яка буде безпосередньо експлуатувати цей вид виробу, але і людини, яка

здіяє у процесі створення матеріалу та послідуєчій технологічній обробки.

Згідно з розробленими стандартами, яким мають задовольняти однострої військовослужбовця, при виборі текстильних матеріалів, з яких здійснюється пошив обмундирування, в першу чергу необхідно враховувати безпеку виробів і матеріалів, до яких належить стійкість забарвлення до дій різноманітної фізико-механічної природи, адже цей вид одягу постійно піддається екстремальним кліматичним впливам, і різного роду тертя, пов'язаних, передусім, із професійною діяльністю військовослужбовця.

Постановка задачі. Для вирішення циклу завдань, пов'язаних зі створенням і впровадженням в серійне виробництво одностроїв військово-службовців, необхідно мати в наявності апробований методологічний апарат, який би дозволяв здійснювати ранжування виробів, зокрема, тканин камуфляжного типу, відповідно до деякої комплексної інтегральної оцінки, а також алгоритми математичного забезпечення для обґрунтування програм їх комплексної експлуатації. Тому поставлене завдання оцінки виробів спеціального призначення за результатами тих чи інших випробувань є актуальною проблемою.

Мета статті – формування принципів комплексної оцінки показників якості текстильних матеріалів для комплексу бойового екіпірування в умовах їх серійного виробництва, яка може бути взята за основу при створенні алгоритмічного забезпечення формалізованих правил випробувань, аналізу результатів і критеріїв адекватності комплексу військової форми у системі «людина-навколишнє середовище-реальна бойова обстановка».

Виклад основного матеріалу

Дослідження останніх років у сфері теорії прийняття рішень дозволили запропонувати принципово новий математичний апарат, що дозволяє будувати моделі прийняття рішень для задач, що мають нечіткий опис – апарат теорії нечітких відносин [6–9].

Існує ряд методів оцінки альтернатив на основі апарату теорії нечітких відносин. Найбільш апробованим з них є так званий метод аналізу ієрархій (MAI), запропонований американським математиком Томасом Сааті [6, 7]. Саме цей метод прийнятий в статті як найдоцільніший з усіх можливих для проведення комплексної оцінки розглянутих виробів спеціального призначення за результатами проведених випробувань в умовах багатоальтернативного вибору виробів і якісного характеру критеріїв оцінки. Як відзначається в роботі [10], на практиці не існує усталеної

процедури генерування цілей, критеріїв і видів діяльності для включення в ієрархію або в більш загальну систему. Це цілком залежить від цілей, які відбираються для декомпозиції складної системи.

Загальна постановка задачі полягає в тому, що маємо деякий об'єкт, реальний стан якого можна об'єктивно і всесторонньо оцінити N показниками, складається з L елементів, працездатністю яких визначається функціональність об'єкта в цілому. Питання вибору та обґрунтування числа значимих факторів вирішується, перш за все, з точки зору мети дослідження. Значення окремих показників у різноманітних режимах роботи об'єкта формується в певну множину елементів l_i ($i=1,2,\dots,N$), причому окремі елементи можуть впливати на всі або декілька параметрів одночасно; зв'язки елементів в системі не є рівноцінними, параметри – однозначними [10, 11]. Питання вибору мінімально необхідного числа параметрів процесу і впливу на них тих чи інших факторів є визначальним. Зазвичай, число таких факторів досить велике, і бажано виділити серед них найсуттєвіші. Методологія системного підходу виходить з принципу Парето [12], згідно з яким для характеристики системи суттєвими є близько 20%, які визначають 80% властивостей системи, а решта 80% визначають визначальні 20% властивостей.

Процедура використання розрахункової схеми методики комплексної оцінки виробів спеціального призначення за результатами випробувань, які можуть мати як кількісний, так і якісний вимір, складається з послідовного виконання таких кроків:

- побудова матриці порівнянь;
- розрахунок головного власного вектора матриці, вектора пріоритетів і головного власного числа;
- перевірка узгодженості висловлювань і міркувань;
- перевірка сумісності експертних оцінок.

Метою випробувань є оцінка основних бойових, технічних та експлуатаційних характеристик дослідних зразків бойового комплексу індивідуального екіпірування (БКІЕ) на відповідність вимогам техніко-тактичних завдань та визначення їх можливостей і рекомендації для проведення кінцевого етапу випробувань. Зважаючи на специфіку виконуваних завдань та аналізуючи результати комплексних випробувань базового комплексу БКІЕ, доходимо висновку, що визначальним елементом в спорядженні бійця є якість тканини, яка використовується для пошиття одностроїв. В зв'язку з цим було проведено низку експериментальних випробувань трьох типів тканин (рис. 1-3), позначатимемо їх як Тк1, Тк2 та Тк3, в процесі яких одержано набір кількісних і якісних показників текстильних матеріалів (ТМ), які

використовуються швейними вітчизняними виробниками для формування комплекту повсякденної польової форми.



Рис. 1. Тканина типу Тк1



Рис. 2. Тканина типу Тк2



Рис. 3. Тканина типу Тк3

Необхідний цикл досліджень проводився відповідно до загальноприйнятих стандартів, розроблених в текстильній промисловості.

У ході досліджень зразків ТМ серед усієї сукупності було виділено найістотніші показники, які характеризують їх споживчі якості відповідно до критеріїв функціональності:

- I. Стійкість забарвлення до прання.
- II. Стійкість забарвлення до сухого і мокрого тертя.
- III. Стійкість забарвлення до дії поту.
- IV. Розривне навантаження тканини.
- V. Повітропроникність ТМ.
- VI. Водовідштовхувальні властивості ТМ.
- VII. Водотривкість ТМ.
- VIII. Здатність до відштовхувальності змазуючих та олійних речовин ТМ.
- IX. Кислотостійкість ТМ.
- X. Вогнестійкість ТМ.

Таким чином, маємо задачу оцінки трьох вказаних типів тканин (Тк1, Тк2 та Тк3) на основі десяти критеріїв (I-X), тобто згідно з термінологією методу аналізу ієрархій – це задача критеріального вибору з найпростішою ієрархією, яка містить три рівні: мета, критерії, альтернативи. Теоретично встановлено, що для отримання матриці порівняння порядку n необхідно виконати $n(n-1)/2$ суджень; для розглядуваного випадку порівнянь за 10-ма критеріями це число складає 45. В загальному випадку під узгодженістю розуміють те, що за наявності основного масиву необроблених даних всі інші дані логічно узгоджуються і можуть отримуватись з них. Тому для проведення парних порівнянь n об'єктів або дій за умови, що кожний об'єкт або дія представлені в сукупності певних значень принаймні один раз, потребується $(n-1)$ суджень про парні порівняння.

З точки зору досягнення поставленої мети виконаємо ранжування критеріїв функціональності, в результаті чого маємо таку картину: критерій I – 0,16; II – 0,14; III – 0,04; IV – 0,05; V – 0,05; VI – 0,08; VII – 0,08; VIII – 0,1; IX – 0,15; X – 0,15. Виконавши процедуру заповнення матриці попарних порівнянь (в розглядуваному випадку матриця 10×10) з урахуванням кількісного порівняння між собою критеріїв, яке полягає в тому, що показники (від I до X) за значущістю відповідають встановленим показникам, дістаємо матриці порівнянь десяти критеріїв для розглядуваних видів тканин Тк1, Тк2, Тк3:

Матриця порівнянь для тканини виду Тк1

$$A^{Tk1} = \begin{bmatrix} & I & II & III & IV & V & VI & VII & VIII & IX & X \\ I & 1 & 1/2 & 3 & 1/5 & 3 & 1/5 & 1/7 & 2 & 1/9 & 1/7 \\ II & 2 & 1 & 3 & 2 & 3 & 7 & 2 & 3 & 7 & 9 \\ III & 1/3 & 1/3 & 1 & 2 & 2 & 1/2 & 1/3 & 1/3 & 1/9 & 1/9 \\ IV & 5 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/5 & 2 & 1/3 & 1/9 \\ V & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 2 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/9 & 1/9 \\ VI & 5 & 7 & 3 & 2 & 3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/6 & 1/9 \\ VII & 7 & 1/2 & 4 & 5 & 3 & 3 & 1 & 3 & 1/5 & 1/9 \\ VIII & 1/2 & 1/3 & 3 & 1/2 & 3 & 5 & 1/3 & 1 & 1/5 & 1/9 \\ IX & 9 & 1/7 & 9 & 3 & 5 & 6 & 5 & 5 & 1 & 1 \\ X & 7 & 1/9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Матриця порівнянь для тканини виду Тк2

$$A^{Tk2} = \begin{bmatrix} & I & II & III & IV & V & VI & VII & VIII & IX & X \\ I & 1 & 1/3 & 4 & 1/6 & 4 & 1/6 & 1/8 & 1/3 & 7 & 1/8 \\ II & 3 & 1 & 4 & 3 & 4 & 8 & 3 & 4 & 6 & 7 \\ III & 1/4 & 1/4 & 1 & 3 & 5 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/8 & 1/7 \\ IV & 6 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/6 & 3 & 1/5 & 1/8 \\ V & 1/4 & 1/4 & 1/5 & 3 & 1 & 1/4 & 1/5 & 1/4 & 1/7 & 1/6 \\ VI & 6 & 1/8 & 3 & 5 & 4 & 1 & 1/5 & 1/7 & 1/8 & 1/7 \\ VII & 8 & 1/3 & 5 & 6 & 5 & 5 & 1 & 5 & 1/7 & 1/7 \\ VIII & 3 & 1/4 & 7 & 1/3 & 4 & 7 & 1/5 & 1 & 1/7 & 1/5 \\ IX & 1/7 & 1/6 & 8 & 5 & 7 & 8 & 7 & 7 & 1 & 1/2 \\ X & 8 & 1/7 & 7 & 8 & 6 & 7 & 7 & 5 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Матриця порівнянь для тканини виду Тк3

$$A^{Tk3} = \begin{bmatrix} & I & II & III & IV & V & VI & VII & VIII & IX & X \\ I & 1 & 1/3 & 4 & 1/6 & 4 & 1/6 & 1/8 & 1/3 & 7 & 1/8 \\ II & 3 & 1 & 2 & 4 & 3 & 8 & 3 & 4 & 6 & 7 \\ III & 1/4 & 1/2 & 1 & 3 & 5 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/8 & 1/7 \\ IV & 6 & 1/4 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/6 & 3 & 1/5 & 1/8 \\ V & 1/4 & 1/3 & 1/5 & 3 & 1 & 1/4 & 1/5 & 1/4 & 1/7 & 1/6 \\ VI & 6 & 1/8 & 3 & 5 & 4 & 1 & 1/5 & 1/7 & 1/8 & 1/7 \\ VII & 8 & 1/3 & 5 & 6 & 5 & 5 & 1 & 5 & 1/7 & 1/7 \\ VIII & 3 & 1/4 & 7 & 1/3 & 4 & 7 & 1/5 & 1 & 1/7 & 1/5 \\ IX & 1/7 & 1/6 & 8 & 5 & 7 & 8 & 7 & 7 & 1 & 1/2 \\ X & 8 & 1/7 & 7 & 8 & 6 & 7 & 7 & 5 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Зазначимо, що елементи сформованих обернено-симетричних матриць визначаються шкалою порівняння, розробленої в роботах [6, 7], яка має вигляд таблиці, що задає лінгвістичну зміну парних порівнянь.

Наступний крок – обчислення вектора пріоритетів за сформованими обернено-симетричними матрицями $(A^{Tk1}, A^{Tk2}, A^{Tk3})$. Без залучення сучасних обчислювальних засобів, які дозволяють точно вирішити цю задачу, грубі оцінки цього вектора здійснювались декількома способами, що ґрунтуються на відповідних арифметичних діях з елементами стрічок (стовпчиків) [6, 7]. Але маючи в наявності сучасні обчислювальні засоби, природним є використання їх можливостей, що дає змогу виконувати стандартні математичні операції з винятковою швидкістю і точністю. Вибір оптимального алгоритму дозволяє автоматизувати процес кількісної оцінки при розв'язуванні конкретної задачі. В нашому випадку маємо задачу на визначення власних значень, асоційованих з визначеними матрицями парних порівнянь.

Якщо позначити через $\omega_1, \dots, \omega_n$ вагові характеристики впливу заданих елементів деякого рівня ієрархії на певний елемент з сукупності C_1, \dots, C_n наступного рівня (в нашому випадку вибрані критерії функціональних якостей досліджуваних видів текстильних матеріалів), тобто n можливим діям (критеріям) ставиться у відповідність множина числових ваг, які відповідають зафіксованим експертним оцінкам; тоді, маючи сформовану матрицю парних порівнянь, треба знайти розв'язок рівнянь виду

$$A^{(I)} \omega^{(I)} = \lambda_{\max}^{(I)} \omega^{(I)} \quad (I = Tk1, Tk2, Tk3), \quad (1)$$

в якому $\omega^{(I)}$ – власні вектори матриць з власним числом $\lambda_{\max}^{(I)}$; рівняння виду (1) має місце внаслідок того, що діагональними елементами матриць порівнянь є одиниці, а самі матриці є узгодженими. В цьому випадку виконується залежність

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i^{(I)} = n; \text{ в нашому випадку } n = 10. \quad (2)$$

В рівнянні (1) і залежності (2) позначено:

$\lambda_{\max}^{(I)}$ – максимальне значення сукупності власних значень, що відповідають власним векторам $\omega^{(I)}$.

Звичайно, найочевиднішим способом знаходження власних значень є їх визначення розв'язуванням системи рівнянь типу

$$(A - \lambda E)X = 0, \quad (3)$$

в якому E – одинична матриця. Беручи до уваги рівняння (1), перепишемо систему рівнянь (3) для нашого випадку таким чином

$$\left[A^{(I)} - \lambda^{(I)} E \right] \omega^{(I)} = 0 \quad (I = Tk1, Tk2, Tk3), \quad (4)$$

яка має нетривіальний розв'язок у випадку, коли $\det(A^{(I)} - \lambda^{(I)} E) = 0$. Отже, розв'язування системи (4) зводиться до знаходження коренів алгебраїчного многочлена, який отримується після розкриття відповідних визначників, що відповідають матрицям попарних порівнянь. Але в розглядуваному випадку матимемо рівняння 10-го степеня, що становитиме значні технічні труднощі. Тому доцільно використати відповідно адаптовані чисельні алгоритми; найкраще для цього пасує метод перетворення подібності [13], який передбачає вживання процедури, в процесі якої з вихідної матриці трансформацією отримується інша з тими ж власними значеннями, але більш простішого виду. Для цієї мети в літературі відомими є низка методів приведення вихідної матриці до тридіагональної форми, серед яких найчастіше вживаними є методи Якобі, Гівенса, Хаусгольдера [13], однак вони ефективні для симетричних матриць. Для нашої мети найефективнішим мав би бути метод, який передбачає виконання таких перетворень, що дозволяють отримати послідовність подібних матриць, які збігаються до матриці блочної трикутної форми [13, 14], причому виділені блоки мають вигляд матриць розмірності 2×2 , розміщених на головній діагоналі; власні значення вказаних блоків є одночасно власними значеннями вихідної матриці; одночасно відзначається, що у випадку всіх дійсних значень вихідної матриці трансформована матриця в остаточному вигляді буде трикутною, причому всі власні значення розміщуватимуться на діагоналі. Але в теорії матриць, розвинутій в праці [14], відзначено, що обернено-симетричні матриці попарного порівняння не містять нулів, тому вони завжди неперивідні.

Як зазначено в роботі [13], вибір найбільш придатного алгоритму для розв'язування тої чи іншої задачі на власні значення визначається типом власних значень, типом матриці і числом шуканих власних значень. Враховуючи особливості розглядуваної проблеми, яка описується матрицями специфічного виду, а саме, діагоналі узгоджених обернено-симетричних матриць складаються з одиниць ($a_{ij}^{(I)} = 1$), тому при малих змінах елементів матриць найбільше власне значення $\lambda_{\max}^{(I)}$ є близьким до n (розмір матриці), а решта власних значень близькі до нуля, що виражається у рівності (2). Тому достатньо для кожного з рівнянь виду (1) визначити найбільше власне значення, для відшукування якого ефективним є використання ітераційного методу, описаного в роботі [14]. Але цей метод володіє певним недоліком, який полягає у швидкості збіжності цього ітераційного процесу, напряму залежним від того, наскільки вдало вибрано початковий (пробний) власний вектор. Однак залучення сучасних обчислювальних засобів дозволяє ефективно реалізувати адаптовані для цієї мети чисельні алгоритми.

Узгодженість додатної обернено-симетричної матриці еквівалентна вимозі рівності її максимального власного значення ($\max \lambda$) значенню n . Ще один можливий спосіб оцінки відхилення від узгодженості різницею величини $\lambda_{\max}^{(I)}$, розділеної на $(n - 1)$; при цьому варто зауважити, що завжди мають місце оцінки

$$\lambda_{\max}^{(I)} \geq n; \quad \lambda_{\max}^{(I)} \leq \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(I)}.$$

Також встановлено [10], що максимальне значення власного числа λ_{\max} , яке також називають коренем Перона матриці A , задовольняє оцінці

$$\lambda_{\max} = \max_{x \geq 0} \min_{1 \leq i \leq n} \frac{(Ax)_i}{x_i} = \min_{x \geq 0} \max_{1 \leq i \leq n} \frac{(Ax)_i}{x_i};$$

$x \geq 0$ – довільне.

Отже, відхилення від узгодженості виражається величиною $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$, яка згідно з означенням [6] має назву індекс узгодженості (IY); в нашому випадку буде

$$IY^{(I)} = \frac{\lambda_{\max}^{(I)} - n}{n - 1} \quad (I = Tk1, Tk2, Tk3). \quad (5)$$

Індекс узгодженості згенерованої випадковим чином по шкалі від 1 до 9 обернено-симетричної

матриці з відповідними оберненими величинами елементів, має назву випадковий індекс (ВІ). Відношення ІУ до середнього ВІ для матриці цього ж порядку називається відношенням узгодженості (ВУ), причому значення ВІ менше або рівне за 0,1 вважається прийнятним. Тому

$$BY^{(I)} = \frac{IY^{(I)}}{BI} (I = Tk1, Tk2, Tk3). \quad (6)$$

Значимо, що в залежності (6) експериментально встановлене значення випадкового індексу для матриці розміром 10×10 становитиме 1,49; дане число запозичене з шкали, наведеної в роботі [6].

Виконаємо спрощену процедуру обчислення головного власного вектора, алгоритм якої передбачає виконання таких кроків:

- перемноження всіх елементів кожної стрічки з отриманих обернено-симетричних матриць парних порівнянь $(A^{Tk1}, A^{Tk2}, A^{Tk3})$, тобто

$$a_i^{(I)} = \prod_{j=1}^n a_{ij}^{(I)};$$

- добування кореня n -ї (в даному випадку 10-ї) степеня кожного з таких добутків, який і є головним власним вектором $w^{(I)} = (w_1^{(I)}, \dots, w_{10}^{(I)})^T$ (символ T означає операцію транспонування) кожної з обернено-симетричних матриць парних порівнянь $(A^{Tk1}, A^{Tk2}, A^{Tk3})$;
- нормалізація отриманих n (для розглядуваного випадку – 10) чисел розділення елементів кожного стовбця на суму елементів цього стовбця, отриманий при цьому нормалізований вектор і є вектором пріоритетів.

Для отримання загального ранжування і оцінки трьох типів тканин треба, по-перше, помножити вагу оцінки за деяким критерієм на вагу критерію, далі скласти значення, отримані для кожного виду по всіх критеріях. Тоді загальна оцінка кожного з випробуваних типів тканин буде сумою загальних ваг вкладів вибраних критеріїв. В результаті виконання обчислень дістанемо необхідні числові дані, узагальнені в табл. 1.

Таблиця 1

Узагальнені дані оцінки тканин виду Тк1, Тк2, Тк3 за критеріями функціональності

Тип тканини	Максимальне власне число, λ_{\max}	Відношення узгодженості, ВУ	Загальна оцінка
Тк1	11,68	0,19	0,28
Тк2	10,12	0,01	0,40
Тк3	11,47	0,16	0,32

Зазначимо, що порівняння і обчислення згідно із залежностями (5), (6), встановлюють пріоритети елементів деякого рівня ієрархії відносно одного елемента наступного рівня. Якщо рівнів більше, ніж два, то різноманітні вектори пріоритетів можуть об'єднуватись в матриці пріоритетів, з яких визначається один остаточний вектор пріоритетів для нижчого рівня.

В результаті аналізу показників за позиціями І-Х, вибудовується ієрархічна система критеріїв оцінки зразків, представлена у вигляді діаграми на рис. 4.

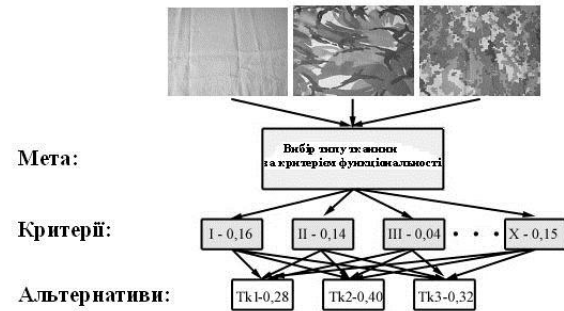


Рис. 4. Діаграма методу аналізу ієрархій вибору найкращого типу тканини для формування КБІЕ

Числа на рис. 4 вказують пріоритети елементів ієрархії з точки зору мети, які обчислюються методом аналізу на основі парних порівнянь елементів кожного рівня відносно пов'язаних з ними елементами вищого (стосовно місця розміщення) рівня.

Висновки

Зазначимо, що розроблена в роботі методика оптимального вибору типу тканини ґрунтується на ієрархії з десятима критеріями, які враховують лише суто техніко-фізичні показники, але не аналізується економічний фактор, який, очевидно, відіграє важливу роль, коли йдеться про поставки різного роду спеціальних виробів, необхідних для забезпечення військових потреб. Ця обставина визначає необхідність побудови більш складних багато-критеріальних оцінок розглянутих виробів в умовах наявності великої кількості факторів, що впливають на остаточний вибір зразка виробу спеціального призначення.

Беручи до уваги той факт, що структура бюджету Міністерства оборони характерна пріоритетністю фінансування Сухопутних військ внаслідок їх найширшого задіяння у військових операціях в зоні АТО, можна зробити висновок про те, що в військові витрати мають забезпечувати підвищення рівня боєготовності і технічної та матеріальної оснащеності збройних сил, внаслідок чого необхідно розробляти нові принципи і підходи

до оптимізації витрат на утримання і розвиток ЗС України в інтересах забезпечення оборонної достатності держави, одночасно дотримуючись балансу військових витрат.

Список літератури

1. Пенчук О.П. Сучасні вимоги до якості текстильних матеріалів і одягу із них / О.П. Пенчук, Н.А. Глубіш // Вісник КНУТД. – 2004. – № 5. – С. 119–123.
2. Чернышева Ю.С. Многофакторный подход к проектированию одежды / Ю.С. Чернышева, В.А. Поваляева // Швейная промышленность. – 2009. – № 4. – С. 28–31.
3. Бузов Б.А. Техническое регулирование, технический регламент и гигиенические требования к одежде / Б.А. Бузов // Швейная пром. – 2005. – № 3. – С. 29–31.
4. ГОСТ 25617-83. Ткани и изделия, полуньяные, хлопчатобумажные и смешанные. Методы химических испытаний.
5. Кричевский Г.Е. Опасность и безопасность изделий из текстиля / Г.Е. Кричевский // Текст. пром. – 2006. – № 3. – С. 87–91.
6. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. – М.: Физматкнига, 2006. – 390 с.

7. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 316 с.
8. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т.Л. Саати. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 356 с.
9. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов / Ф.А. Новиков. – СПб.: Питер, 2001. – 304 с.
10. Месарович М. Общая теория систем: Математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. – М.: Мир, 1978. – 340 с.
11. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С.Л. Оптнер. – М.: Советское радио, 1969. – 216 с.
12. Смирнов В.Н. Системное исследование показателей качества изделий / В.Н. Смирнов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 183 с.
13. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: Практическое руководство. Пер. с англ. / Т. Шуп. – М.: Мир, 1982. – 238 с.
14. Беллман Р. Введение в теорию матриц / Р. Беллман. – М.: Наука, 1969. – 368 с.

Рецензент: д.фіз.-мат.н., с.н.с. Б.Д. Дробенко, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, Львів.

Математические методы решения задачи комплексной оценки комплекта боевой экипировки с учетом особенностей функционального назначения

П.П. Ткачук, А.Д. Черненко, П.И. Ванкевич, Е.Г. Иваник

С использованием элементов теории нечетких отношений и метода анализа иерархий разработана расчетная схема получения обоснованной комплексной оценки комплекта боевой экипировки бойца. Определяющей характеристикой является качество ткани, положенной в основу формирования одежды военнослужащего. Принято во внимание десять критериев, характеризующих функциональность полевой формы с учетом специфики выполняемых боевых задач, на основании которых получены количественные параметры имеющихся типов текстильных материалов.

Ключевые слова: текстиль, боевая экипировка, камуфляжные ткани, функциональное назначение, качественные и количественные показатели оценки боевой экипировки, критерии функциональности, теория принятия решений, теория нечетких отношений, матрицы сравнений, ранжирование критериев функциональности.

Mathematical methods of the solution of problem for estimate combined of complex military equipment with account special features the functional purpose

P. Tkachyck, A. Chernenko, P. Vankevych, E. Ivanyk

Using elements of fuzzy relations and hierarchy analysis method developed design scheme obtain reasonable comprehensive assessment of textile materials intended for the acquisition of combat equipment fighter. According to the results of the assessments revealed that fact should be considered indirect effects exploited uniforms on people at all stages of production. By defining characteristic quality of tissue taken underlying the formation of a military clothing. Taken into account ten criteria that characterize the functionality of field-specific forms performed combat missions on which obtained quantitative parameters of existing types of textile materials. The general formulation of the problem, which is the presence of a specific object, the real situation is objectively and comprehensively evaluated your performance and serviceability individual elements defined functionality of the object in general. The choice of study and number of important factors is decided in terms of the objectives of the study. It is noted that the purpose of experimental tests is to assess the main battle, technical and operational characteristics of prototypes of individual combat kit equipment for compliance with technical and tactical problems and identify their opportunities and recommendations for the final stage of testing. An analysis of indicators for the ten selected positions built hierarchical system of criteria for evaluating designs the algorithm assessing the quality of the samples presented in the article as a diagram.

Keywords: textiles, military equipment, camouflage materials, functional purpose, quantitative and qualitative estimates of military equipment, functional criteria's, theory of decision adoption, theory of indistinctional relations, comparative matrix, ranking of functional criteria's.