

РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ОВТ

УДК 623.5/

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.3-12>

Ю.І. Бударецький, Ю.В. Щавінський, В.В. Кузнецов, С.Т. Ніколаєв

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСІВ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

У статті проведений аналіз сучасного стану методів оцінювання програмного забезпечення комплексів засобів автоматизації управління вогнем артилерійських систем, що поступають на озброєння артилерійських підрозділів Сухопутних військ Збройних Сил України. Визначена актуальна проблема проведення перевірки та сертифікації розроблених зразків спеціального програмного забезпечення таких комплексів, яка полягає у відсутності установлених процедур оцінювання, великої долі суб'єктивної складової в існуючих методиках оцінювання програмного забезпечення, неузгодженості їх норм щодо державних і міжнародних стандартів. В концептуальній моделі оцінювання якості програмного забезпечення, що пропонується, визначені нові метрики, які будуть характеризувати спеціальне програмне забезпечення, що забезпечує функціонування комплексів засобів автоматизації управління вогнем артилерійських підрозділів при виконанні ними завдань вогневого ураження і відображає особливість застосування артилерійських систем. Для оцінювання запропонованих нових метрик визначені і обґрунтовані елементи їх оцінювання та математичний апарат для проведення розрахунків. Для визначення величини впливу показників на загальну якість програмного забезпечення запропонований новий підхід, який полягає у застосуванні методу аналізу ієрархій при визначенні пріоритету показників елементів, метрик, критеріїв і факторів на кожному рівні ієрархії. Застосування багатокритеріального аналізу методу аналізу ієрархій забезпечує уникнення суб'єктивності експертів при оцінюванні якості спеціального програмного забезпечення, дозволяє виявити вузькі місця в розроблених тактико-технічних вимогах до програмного забезпечення вказаних комплексів засобів автоматизації артилерійських систем та враховувати взаємний вплив показників на загальну якість. Визначена удосконалена методика, яка більші повно охоплює процес оцінювання програмного забезпечення, в подальшому буде основою для створення системи забезпечення якості програмних засобів комплексів засобів автоматизації та формування інструменту для їх сертифікації.

Ключові слова: програмне забезпечення, метод аналізу ієрархій; стандарти якості; вимоги до програмного забезпечення; критерії оцінювання якості програмного забезпечення; показники якості програмного забезпечення.

Постановка проблеми

Одним із напрямів розвитку військово-технічного і технологічного потенціалу держави в частині забезпечення належного оснащення артилерійських підрозділів необхідним ракетно-артилерійським озброєнням, що розробляється на довгострокову перспективу, є створення автоматизованої системи управління вогнем артилерії (АСУВА). Вона призначена для проведення відповідних артилерійських розрахунків (вирішення інформаційно-аналітичних задач) у режимі реального часу, і її розробка відбувається з використанням геоінформаційних технологій [1].

На сьогодні в артилерійських підрозділах ЗСУ крім комплексів машин управління, що створюються

в рамках ДКР «ОБОЛОНЬ», в наявності є велика кількість програмно-апаратних комплексів (ПАК), які розроблені різними організаціями – «ГІС-АРТА», «ArtOS», «МАПА», «КРОПИВА», та інші [2, 3]. За умов бойової обстановки, що динамічно змінюється, невід'ємною і головною частиною ПАК є їх спеціальне програмне забезпечення (СПЗ).

Загальною проблемою СПЗ таких комплексів є відсутність в них інтелектуальної складової у вигляді системи підтримки прийняття рішення (СППР) артилерійським командиром, а також відсутність комплексного вирішення завдань всебічного забезпечення стрільби артилерійських систем (АС).

Сьогодні існує багато підходів до визначення якості програмного забезпечення [4-14]. Однак вони на враховують специфічних задач артилерійських

підрозділів. Такий стан справ не дає можливості на державному рівні визначити найбільш якісний зразок СПЗ із метою створення сучасних комплексів засобів автоматизації (КЗА), що входять до складу АСУ артилерійськими підрозділами і їх вогнем в контексті вирішення ними конкретних задач. Тому визначення критеріїв оцінювання СПЗ являє значний науково-практичний інтерес. Актуальність оцінювання СПЗ для артилерійських підрозділів підтверджується необхідністю проведення сертифікації програмних засобів, тому що недостатня якість СПЗ та його помилки являють потенційну загрозу для виконання завдань у бою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій щодо розгляду питання оцінювання якості СПЗ дозволив скласти загальне уявлення про наявність існуючої методологічної бази сучасної науки в галузі інформаційних технологій. Безперечним є той факт, що проведення оцінювання якості програмних продуктів із метою визначення рівня їх ефективності проводиться на різних етапах життєвого циклу програм – від створення до удосконалення під час експлуатації [5-11].

Визначення якості програмних продуктів, що використовуються в цивільних галузях сьогодення, проводиться переважно з використанням розширених кількісних методів оцінювання окремих техніко-економічних показників на різних стадіях впровадження нововведень.

Серед моделей оцінки якості програмного забезпечення науковці виокремлюють модель Мак-Кола (1977), модель Боема (1978), модель Дромера (1994, 1998), модель Гезі, IEEE1219 (1993), ISO9126-1 (2001), ISO25010 (2010), FURPS, QMOOD [14]. Їх аналіз показує, що розроблені методики та моделі оцінювання ПЗ ґрунтуються на вимогах, визначених у переліку Державних стандартів України (ДСТУ) та Міжнародних стандартів ISO 9000, які відображають тільки цивільний набір номенклатури показників якості ПЗ без врахування специфічних особливостей виконання завдань артилерійськими підрозділами [15-17].

Першою спробою вирішення цієї проблеми є проведені в Науковому центрі Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ науково-дослідні роботи «АРТИЛЕРІЯ», «ПАВУТИНА» з уточнення вимог до СПЗ КЗА [18-19], реалізація яких є базою для створення вітчизняної системи управління артилерійськими підрозділами і їх вогнем в різних ланках управління. Нові методичні підходи з удосконалення СПЗ КЗА для ведення вогню артилерійськими системами, що запропоновані в роботі [20], надають можливість оцінити специфічні вимоги ПЗ стосовно виконання завдань артилерійськими підрозділами і потребують подальшого розвитку.

Мета статті

Метою дослідження є визначення специфічних показників оцінювання якості СПЗ КЗА, які є на озброєнні артилерійських підрозділів, удосконалення процедур оцінювання СПЗ, що в подальшому забезпечить надання інструменту для процесу його сертифікації.

Виклад основного матеріалу

Якість ПЗ (Software quality) визначається тим, наскільки воно задовольняє вимогам, що висувуються до нього. Поняття якості ПЗ може бути описано деякою структурованою системою різномірних параметрів, яка називається моделлю якості. Згідно зі стандартами [15-17] така система параметрів складається з чотирьох рівнів показників якості і являє собою ієрархічну структуру.

Перший рівень являють шість основних характеристик або факторів якості: надійність (reliability), супроводжуваність (maintainability), зручність застосування (ease of use), ефективність (effectiveness), універсальність (versatility), коректність (correctness). Отже, якість СПЗ (Q) згідно зі стандартами [15-17] виражається цільовою функцією

$$Q = f(R, M, U, E, V, C), \quad (1)$$

де R – характеристика надійності;

M – характеристика супроводжуваності;

U – характеристика зручності;

E – характеристика ефективності;

V – характеристика універсальності;

C – характеристика коректності.

Враховуючи цільову функцію (1), максимум кожної характеристики забезпечить також і максимальне значення якості ПЗ.

На другому рівні кожному фактору повинні відповідати критерії оцінювання. В якості критеріїв розуміють деяку ознаку, яку можна застосовувати для оцінювання, визначення, класифікації певного об'єкта. Загальний перелік показників для оцінювання ПЗ, що вказаний в стандартах [15-17], включає: стійкість функціонування, працездатність, структурованість, простоту конструкції, наочність, повторюємість, легкість засвоєння, доступність експлуатаційної документації, зручність експлуатації і обслуговування, рівень автоматизації, швидкодню, ресурсоемість, гнучкість, мобільність, модифікаційність, повноту реалізації, узгодженість, логічну коректність, перевіреність.

На третьому рівні кожен показник позначають одним або кількома метриками, які повинні найбільш повно його характеризувати.

СПЗ для КЗА артилерійських систем повинно відповідати спеціальним вимогам, які забезпечать точну та ефективну стрільбу АС.

Для оцінки якості розробленого СПЗ необхідно поряд із загальноприйнятими метриками, що визначені ДСТУ, розробити додаткові метрики для оцінки специфічних особливостей СПЗ, які властиві функціонуванню артилерійських підрозділів у бойових умовах при виконанні бойових завдань. Одною із основних метрик оцінювання СПЗ повинна бути повнота відповідності вимогам і положенням керівних документів – Правил стрільби і управління вогнем (ПСіУВ), Курсу підготовки артилерії (КПА), Бойовому статуту артилерії та ін. щодо використання однакових угод, форматів і позначень по всій програмі і в документації на неї.

Також необхідно оцінити рівень застосування СПЗ КЗА (тактичний, оперативно-тактичний, стратегічний) та наявність і ефективність фрагментів СПЗ для

підтримки прийняття військового рішення як на виконання стрільби АС, так і на застосування артилерійських підрозділів.

Таким чином, враховуючи основне призначення АС, якими озброєні артилерійські підрозділи, на 3-му рівні в загальну модель оцінювання СПЗ необхідно включити метрики:

- повнота вирішення задач стрільби АС;
- відповідність вимогам ПСіУВ та КПА.

Концептуальна модель оцінювання якості ПЗ КЗА показана на рис. 1. Вона характеризує наявні причинно-наслідкові зв'язки, які властиві процесу оцінювання якості готового ПЗ та визначені системою рівнів або ієрархій, і взаємозв'язок факторів, критеріїв і метрик оцінювання.

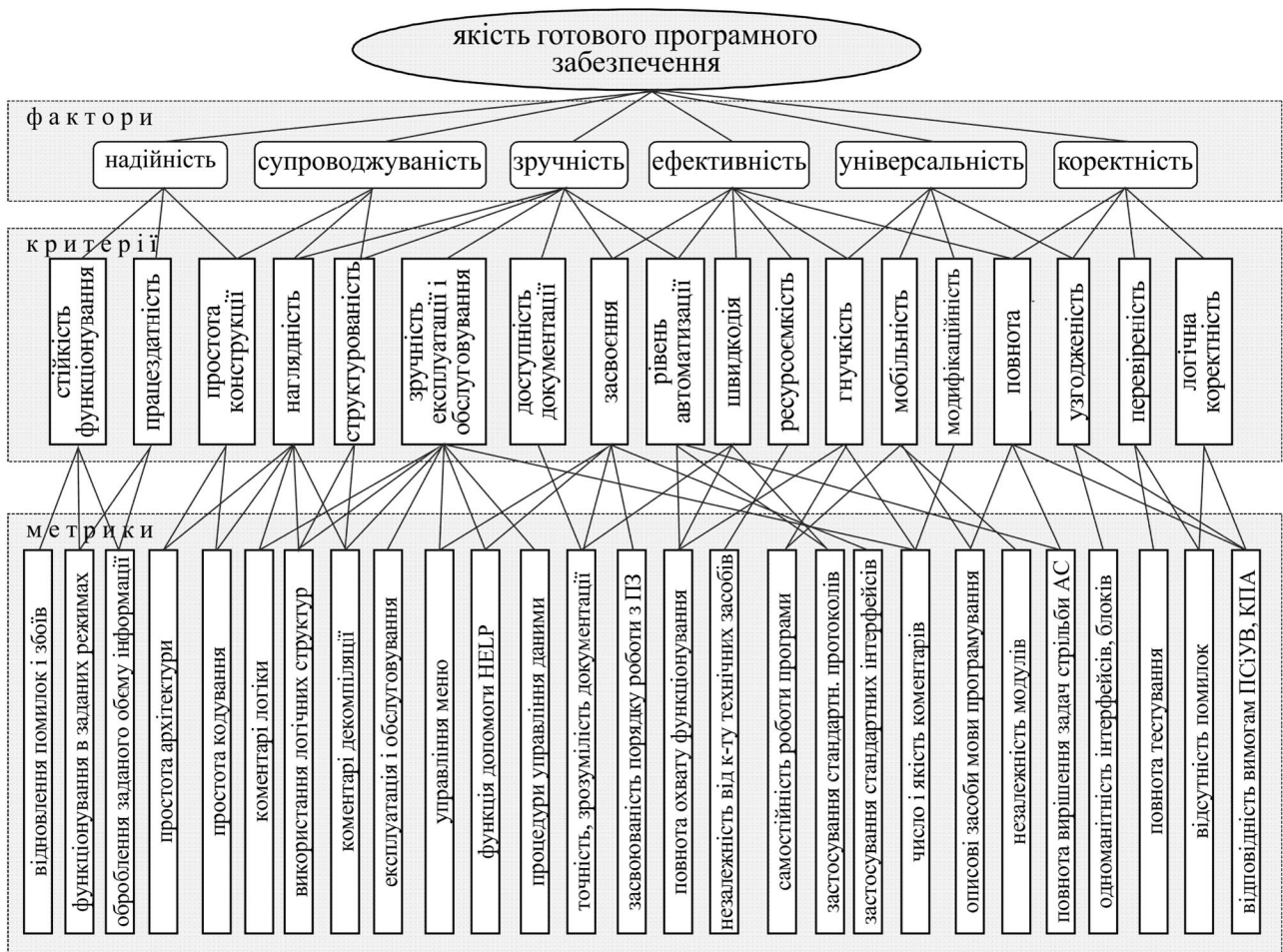


Рис. 1. Структурно-функціональна схема концептуальної моделі оцінювання якості ПЗ

На четвертому рівні метрики складаються з елементів оцінювання, кількість яких необмежена і залежить від мети та фази, на якій проводиться оцінювання: проектування, реалізація, тестування, виготовлення дослідних зразків, обслуговування, аналіз експлуатації. Вибір оціночних елементів для кожної метрики залежить від функціонального призначення програмного забезпечення.

Для СПЗ КЗА метрику повноти вирішення задач стрільби АС будуть характеризувати елементи:

- відносна кількість у ПЗ задач підготовки стрільби і управління вогнем АС;
- відносна кількість у ПЗ задач пристрільовання цілей різними способами;
- відносна кількість у ПЗ задач вогневого ураження.

Метрику відповідності вимогам ПСіУВ та КПА будуть характеризувати елементи:

- відносна кількість виконання завдань у складі взводу, батареї, дивізіону;

- можливість апіорного оцінювання ефективності варіантів виконання вогневого завдання;
- можливість оцінювання виконання навчальних стрільб;
- можливість оцінювання виконання тактичних завдань артилерійськими підрозділами;
- наявність елементів підтримки прийняття рішення.

Таким чином, для повноти оцінювання СПЗ і накопичення інформації про оціночні елементи на основі раніше отриманих даних про якість аналогічних СПЗ у сформований довідник оціночних елементів додатково включені елементи, які будуть характеризувати специфічні метрики для оцінювання СПЗ КЗА АС. Зазначені метрики й елементи їх оцінювання необхідно також включити в перелік тактико-технічних вимог при конструюванні КЗА та відпрацюванні нового СПЗ.

Показники елементів, метрик і критеріїв можуть визначатись як кількісно, так і якісно.

Визначені елементи відносної кількості у СПЗ задач підготовки стрільби і управління вогнем, задач пристрілювання цілей, вогневого ураження, кількості виконання завдань у складі взводу, батареї, дивізіону є дискретними значеннями з розмірністю від 0 до 1.

Тоді відносну кількість у СПЗ задач підготовки стрільби і управління вогнем АС потрібно розраховувати за формулою

$$K_c = \frac{n_c}{V_{nc}}, \quad (2)$$

де n_c – наявна кількість задач підготовки стрільби у СПЗ;

V_{nc} – загальна передбачена кількість задач за теорією стрільби і управління вогнем.

Відносна кількість у СПЗ задач пристрілювання цілей різними способами оцінюється за формулою

$$K_p = \frac{n_p}{V_{np}}, \quad (3)$$

де n_p – наявна кількість задач пристрілювання у ПЗ;

V_{np} – загальна передбачена кількість задач пристрілювання Правилами стрільби і управління вогнем.

Відносна кількість у СПЗ задач вогневого ураження оцінюється за формулою

$$K_u = \frac{n_u}{V_{nu}}, \quad (4)$$

де n_u – наявна кількість задач вогневого ураження у ПЗ;

V_{nu} – загальна передбачена кількість задач вогневого ураження у ПСіУВ.

Елемент відносної кількості виконання завдань у складі взводу, батареї, дивізіону доцільно розраховувати за формулою

$$K_v = \frac{n_v}{V_{nv}}, \quad (5)$$

де n_v – наявна кількість виконання у ПЗ вогневих завдань у складі взводу, батареї, дивізіону;

V_{nv} – загальна передбачена у ПСіУВ кількість виконання вогневих завдань у складі взводу, батареї, дивізіону.

Можливість апіорного оцінювання ефективності варіантів виконання вогневого завдання (K_a), можливість оцінювання виконання навчальних стрільб (K_n), можливість оцінювання виконання тактичних завдань (K_t) артилерійськими підрозділами і наявність елементів підтримки прийняття рішення (K_s) доцільно оцінювати експертним методом із залученням експертів у цій галузі знань. Шкалу їх оцінювання для узгодження з решти показниками теж доцільно установити від 0 до 1.

Таким чином, з метою порівняння і вибору ефективного зразка, для оцінювання якості СПЗ в артилерійських підрозділах алгоритм вибору показників на різних рівнях для оцінювання буде відповідати структурно-функціональній схемі, що наведена на (рис. 2):

- експертом визначається мета процесу оцінювання;
- визначаються фактори або характеристики, що будуть впливати на якісну оцінку ПЗ;
- для оцінювання впливу кожного фактора визначають критерії;
- кожен критерій позначають метрикою;
- для оцінювання метрики вибирають елементи оцінювання та визначають шкалу.



Рис. 2. Структурно-функціональна схема алгоритму вибору показників для оцінювання якості ПЗ

Але, як зазначають фахівці [4,7,9,14,21], на практиці не існує єдиної установленної процедури формування мети, визначення факторів, критеріїв,

метрик і елементів. Оцінювання якості СПЗ, як функції характеристик (1), є суб'єктивним з причини суб'єктивного вибору метрик і оціночних елементів

експертами для оцінювання та визначення їх комплексного взаємовпливу. Інтерпретація результатів оцінювання теж здійснюється суб'єктивно, оскільки відсутні стандартизовані, "еталонні" значення. Така суб'єктивність набуває ще більшого значення на різних фазах життєвого циклу СПЗ особливо із введенням додаткових елементів і метрик.

Необхідність врахування суб'єктивних оцінок і їх пріоритетів при порівнянні СПЗ в складі КЗА потребує застосування методів оцінювання, які могли би враховували суб'єктивізм.

Висновок про ієрархічну структуру дає нам можливість застосувати метод аналітичних ієрархічних процесів, який науковці спрощено назвали методом аналізу ієрархій (МАІ). Цей метод розроблений американським математиком Т.П. Сааті в 70-х роках 20-го століття і передбачає проведення процедури узгодженості суб'єктивних експертних оцінок і співвідношення важливості показників, без яких зразки СПЗ можуть бути неправильно оцінені за сукупністю важливих показників [21].

Для проведення процесу оцінювання якості СПЗ крім зазначених в стандартах ми визначили специфічні метрики та елементи їх оцінювання, які відображають особливість спеціального ПЗ КЗА артилерійських систем.

Задача порівняльного аналізу МАІ зводиться до оцінювання ступеня впливу показників нижчого рівня на показник вищого рівня у створеній ієрархічній структурі послідовними парними порівняннями та створенням матриці парних порівнянь (матриці відносної важливості показників) і розрахунком власного вектора та власного значення матриці. При цьому власний вектор матриці елементів приймають за їх пріоритети або вагомість впливу на метрику. Такий підхід буде мінімізувати суб'єктивність при загальному оцінюванні якості СПЗ.

З великої кількості елементів, метрик і критеріїв на фазі оцінювання готового СПЗ необхідно із великої кількості показників, які описують властивості розробленого СПЗ згідно зі стандартами [15-17], вибрати лише ті, які мають найбільший вплив.

Кількість елементів, метрик, критеріїв визначається індивідуально на підставі експертних оцінок. В роботі [21] запропонована процедура вибору експертами показників на кожному рівні ієрархії. Результати опитування експертів заносяться в картку вибору (рис. 3).

Таким чином, за сумою балів оцінок експертів із великої кількості показників (P1, P2, ... Pi) вибирають найбільш інформативні. Як правило, їх не повинно бути більше 9, тому що більша за дев'ять

кількість може привести до викривлення спотворення результату [21].

№ з/п	Перелік показників	№ експерта					сума
		1	2	n	
1	P1	+		+		+	3
2	P2	+	+	+	+	+	5
...	...		+	+			...
i	Pi	+				+	2

Рис. 3. Картка вибору показників експертами

Після вибору показників отримують результати парних порівнянь показників експертами за шкалою бальних оцінок, що запропонована Т. Сааті [22] (табл. 1).

Таблиця 1

Шкала бальних оцінок показників

Відносна важливість (бали)	Визначення
1	Однакова важливість
3	Помірна перевага
5	Суттєва перевага
7	Значна перевага
9	Дуже велика перевага

Примітка: Проміжні ступені приймаються в компромісних випадках

Для прикладу, при оцінюванні метрики відповідності вимогам ПС і УВ та КПА експертами визначені п'ять елементів (рис. 4).

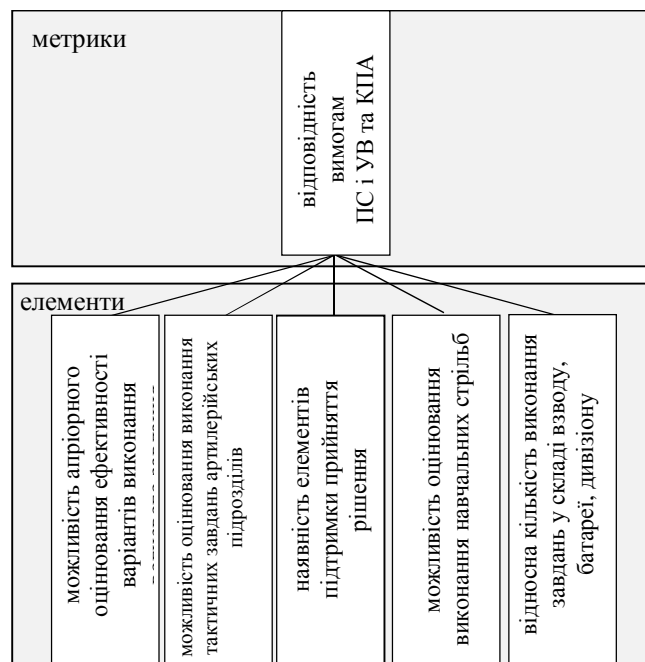


Рис. 4. Елементи метрики

У цьому випадку матриця відносної важливості показників буде виглядати як:

$$AA = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{15} \\ a_{21} & 1 & \dots & \dots & \dots \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \dots & \dots \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 1 & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де $a_{12} \dots a_{54}$ – коефіцієнти матриці, які виражають відносну перевагу один перед одним попарно

$$a_{12} = \frac{1}{a_{21}}, a_{13} = \frac{1}{a_{31}}, a_{14} = \frac{1}{a_{41}}, a_{15} = \frac{1}{a_{51}}.$$

Позначимо елементи для оцінювання метрики (рис. 4):

- можливість апріорного оцінювання ефективності варіантів виконання вогневого завдання – P1;
- можливість оцінювання виконання тактичних завдань артилерійськими підрозділами – P2;
- наявність елементів підтримки прийняття рішення – P3;
- можливість оцінювання виконання навчальних стрільб – P4;
- відносна кількість виконання завдань у складі взводу, батареї, дивізіону – P5.

Припустимо, що, враховуючи таблицю 5, експертом визначені парні переваги: P1-P2 – 3; P3-P1 – 5; P1-P4 – 1; P1-P5 – 3; P2-P3 – 2; P2-P4 – 7; P2-P5 – 1; P3-P4 – 5; P3-P5 – 1; P5-P4 – 7.

Використовуючи формулу (6), отримаємо матрицю відносної важливості показників (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця відносної важливості показників

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	3	0,2	1	0,2
P2	0,33	1	2	7	1
P3	5	0,5	1	5	1
P4	1	0,14	0,2	1	0,14
P5	0,33	1	1	7	1
сума	12,33	5,642	4,4	20,09	3,34

Після нормування стовпців матриці діленням елемента кожного стовпця на суму (табл. 2) його стовпця отримаємо нормовану матрицю із сумою значень елементів в кожному рядку або вектор матриці (табл. 3).

Таблиця 3

Нормована матриця відносної важливості показників

	P1	P2	P3	P4	P5	сума
P1	0,08	0,53	0,05	0,05	0,06	0,77
P2	0,03	0,18	0,45	0,33	0,30	1,29
P3	0,41	0,09	0,23	0,24	0,30	1,26
P4	0,08	0,03	0,05	0,05	0,04	0,24
P5	0,41	0,18	0,23	0,33	0,30	1,44

Розділивши суму кожного рядка на розмірність матриці (в нашому випадку розмірність матриці – 5), отримаємо власний вектор пріоритетів, який виражає

відносну перевагу кожного з п'яти елементів для нашої метрики

$$v = \begin{bmatrix} 0,15 \\ 0,26 \\ 0,25 \\ 0,05 \\ 0,29 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

З аналізу власного вектора (7) робимо висновок про те, що при оцінюванні метрики відповідності вимогам ПСіУВ та КПА найбільший пріоритет або вагомість мають елементи:

- відносна кількість виконання завдань у складі взводу, батареї, дивізіону – P5 (0,29);
- можливість оцінювання виконання тактичних завдань артилерійськими підрозділами – P2 (0,26);
- наявність елементів підтримки прийняття рішення – P3 (0,25).

Кількість матриць переваг і їх коефіцієнтів залежить від необхідної кількості показників на кожному рівні (рис. 1).

Отримані коефіцієнти переваг будуть враховані при визначенні величини показника метрики, критерію, фактора на кожному рівні ієрархії, що забезпечить уникнення суб'єктивності в оцінюванні якості ПЗ, використовуючи МАІ.

Загальна оцінка метрики відповідності вимогам ПСіУВ та КПА (Qv) визначається сумою парних добутків величини показника елемента і його коефіцієнта пріоритету з власного вектора матриці (7)

$$Qv = v_{p1} * Ka + v_{p2} * Kt + v_{p3} * Ks + v_{p4} * Kn + v_{p5} * Kv, \quad (8)$$

де Ka – величина показника елемента можливості апріорного оцінювання ефективності варіантів виконання вогневого завдання;

Kt – величина показника елемента можливості оцінювання виконання тактичних завдань артилерійських підрозділів;

Ks – величина показника наявності елементів підтримки прийняття рішення;

Kn – величина показника елемента можливості оцінювання виконання навчальних стрільб;

Kv – величина показника елемента відносної кількості виконання завдань у складі взводу, батареї, дивізіону;

$v_{p1} \dots v_{p5}$ – величини коефіцієнтів пріоритету власного вектора матриці (7) відповідно.

Враховуючи зазначене, застосування МАІ дозволяє не тільки оцінити якість ПЗ, але й дасть можливість на основі розрахованих коефіцієнтів пріоритету власних векторів (7) або коефіцієнтів вагомості визначити показники, які недостатньо відпрацьовані і потребують покращення. МАІ дозволяє врахувати також і протилежний вплив одного показника на

різні сторони якості. Наприклад, метрика повноти вирішення задач стрільби може позитивно впливати на критерій повноти ПЗ і негативно на критерій ресурсоемкості. Визначена методика використання МАІ дозволяє при оцінюванні показників на кожному рівні ієрархії уникнути явища суб'єктивності визначення якості ПЗ.

Висновок

Таким чином, запропоновані нові метрики в загальній моделі оцінювання якості СПЗ забезпечать всебічне оцінювання спеціального ПЗ, яке функціонує в КЗА, що знаходяться на озброєнні артилерійських підрозділів і буде відображати особливість функціонування комплексів засобів автоматизації артилерійських підрозділів при виконанні ними завдань вогневого ураження.

Для визначення величини впливу на загальну якість СПЗ запропонований новий підхід, який полягає у застосуванні методу аналізу ієрархій.

Застосування цього методу при визначенні пріоритету показників елементів, метрик, критеріїв і факторів на кожному рівні ієрархії забезпечить уникнення суб'єктивності експертів при оцінюванні якості СПЗ, дозволить виявити вузькі місця в розроблених тактико-технічних вимогах до СПЗ КЗА, що в подальшому забезпечить надання інструменту для процесу його сертифікації і може служити основою для створення системи забезпечення якості програмних засобів КЗА.

Список літератури

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 червня 2017 р. № 398-р: Про схвалення Основних напрямів розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/25-0071205>. (дата звернення: 23.08.2021).
2. Ткачук П.П., Вишневський Ю.В., Соколовський С.М., Гуріненко В.І. Дослідження можливостей програмно-апаратного комплексу «МАПА» щодо оптимізації процесу збору та обробки розвідувальних відомостей на пункті управління артилерійською розвідкою. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2020. № 23. С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.23.2020.58-64>. (дата звернення: 13.09.2021).
3. Ткачук П.П., Живчук В.Л., Литвин В.В., Оборська О.В. Підхід до побудови програмного забезпечення збору, передачі та обробки розвідувальних даних в АСУ тактичної ланки. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2015. №13. С. 61-64. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.13.2015.61-64>. (дата звернення: 13.09.2021).
4. Chen X., Wang D., Huang H. & Wang Z., Verification and Validation in Railway Signalling Engineering – An Application of Enterprise Systems Techniques. *Enterprise Information Systems* 8 (4): 490–511, 2014, DOI: <https://doi.org/10.1080/17517575.2013.835071>. (дата звернення: 27.08.2021).
5. Грицок Ю.І., Андрущакевич О.Т. Засіб для визначення якості програмного забезпечення методами метричного аналізу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018, т. 28, № 6. С. 159–171. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280631>. (дата звернення: 14.08.2021).
6. Maksym Seniv, Vitaliy Yakovyna, Yaroslav Chabanyuk, Dmytro Fedasyuk. The method of software reliability evaluation and prediction based on the model with dynamic index of project size. *International Journal of Computing*, 2011, Volume 10, Issue 2, pp. 97-107. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/32361/1/%D0%A1%D0%B5%D0%BD%D1%96%D0%B2.pdf>. (дата звернення: 23.08.2021).
7. M. Pavlenko, S. Osieivskiy, Yu. Daniuk. Methodological foundation for improving the quality of intelligent decision-making system software. *Системи обробки інформації*, 2021, випуск 1 (164). С. 55-64. DOI: <https://doi.org/10.30748/soi.2021.164.06>. (дата звернення: 03.08.2021).
8. Grytsyuk Yu, Mukha T. Methods of determination of quality of software. *Scientific Bulletin of UNFU*. 30. 2020. pp. 158-167. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300127>. (дата звернення: 02.08.2021).
9. Azar D., Harmanani H., & Korkmaz R. A hybrid heuristic approach to optimize rule-based software quality estimation models. *Information and Software Technology*, 2009, September. 51(9), pp. 1365–1376. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2009.05.003>. (дата звернення: 27.08.2021).
10. Boegh, J. A new Standard for Quality Requirements. *IEEE Software*, 2008. 25(2), pp. 57–63. DOI: <https://doi.org/10.1109/MS.2008.30>. (дата звернення: 15.09.2021).
11. Challa J.S., Paul A., Dada Y., Nerella V., Srivastava P.R., Singh A.P. Integrated Software Quality Evaluation: A Fuzzy Multi-Criteria Approach. *Journal of Information Processing Systems*, 2011. 7(3), pp. 473–518. DOI: <https://doi.org/10.3745/JIPS.2011.7.3.473>. (дата звернення: 20.09.2021).
12. Ghanbari H., Vartiainen T., Siponen M. Omission of Quality Software Development Practices: A Systematic Literature Review. *ACM Computing Surveys*, 2018. 51(2). DOI: <https://doi.org/10.1145/3177746>. (дата звернення: 23.09.2021).
13. Gül Çalıklı and Aysel Başar Bener. Influence of Confirmation Biases of Developers on Software Quality: An Empirical Study. *Software Quality Journal*, 2013. 21(2), pp. 377–416. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11219-012-9180-0>. (дата звернення: 23.09.2021).
14. Вольська К.О.. Порядок оцінки якості програмних продуктів для ведення бухгалтерського обліку. *Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу*. 2019. Вип. 2 (43). С. 22-28. DOI: [http://dx.doi.org/10.26642/pbo-2019-2\(43\)-22-28](http://dx.doi.org/10.26642/pbo-2019-2(43)-22-28). (дата звернення: 19.08.2021).
15. ДСТУ ISO/IEC 9126-1:2013 (ISO/IEC 9126-1:2001, IDT) Національний стандарт України. Програмна інженерія. Якість продукту. Частина 1. Модель якості. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://metrology.com.ua/.../dstu-is0-ies-9126-1-2013>. (дата звернення: 13.08.2021).
16. Стандарт ISO 9000-3 (ДСТУ ISO 9003-95; EN 29003). Загальне керівництво якістю і стандарти по забезпеченню якості. Ч. 3. Керівні вказівки до застосування

стандарту ISO 9001 при розробці, постачанні та обслуговуванні програмного забезпечення. / Каталог стандартів/ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.docme/doc/832291/iso-9000-3>. (дата звернення: 13.08.2021).

17. Standard ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- System and software quality models. / Standards catalogue/ [Electronic resource]. Access mode: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=35733. (дата звернення: 23.08.2021).

18. Звіт про підсумки проведення наукового експерименту «Дослідження впливу комплексів засобів автоматизації на точність і оперативність підготовки даних для стрільби артилерійських систем». Львів: НАСВ, 2018, Інв. 27-НОВ-2018 . 44 с.

19. Заключний звіт НДР «Уточнення вимог до комплексу засобів автоматизації управління вогнем артилерійських підрозділів» Шифр «ПАВУТИНА». Львів, 2015. 248 с.

20. Бударецький Ю.І., Щавінський Ю.В., Іваник Є.Г., Бахмат М.В., Олійник М.Я. Удосконалення математичного забезпечення комплексу засобів автоматизації для ведення вогню артилерійськими системами. *Озброєння та військова техніка: Науково-технічний журнал*. Київ: ЦНДІ ОБТ, 2020. № 2 (26). С. 94-102. DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).94-102](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).94-102) (дата звернення: 21.09.2021).

21. Полегенько А.Ф. Круковский-Синевич К.Б., Коростылёв О.П. Метод анализа иерархий: некоторые аспекты практического применения: монография. Київ : ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2011. 152 с.

22. Thomas L. Saaty. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, Volume 48, Issue 1, 1990, Pages 9-26, DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1) (дата звернення: 23.08.2021).

References

1. Orders of the Cabinet of Ministers (2017), "Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 14 chervnya 2017 r. № 398-r: Pro skhvalennya Osnovnykh napryamiv rozvytku ozbroynennya ta viyskovoyi tekhniki na dovhostrokovyy period" [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of June 14, 2017 № 398-r: On approval of the Main directions of development of armaments and military equipment for the long term]. *Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine* 14.06.2017 № 398-r. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/250071205>. (Accessed 23 August 2021). [in Ukrainian].

2. Tkachuk P., Vyshnevsky Y., Sokolovsky S. and Hurinenko V. (2020), Doslidzhennya mozhyvostey prohranno-aparatnoho kompleksu «MAPA» shchodo optymizatsiyi protsesu zboru ta obrobky rozvidual'nykh vidomostey na punkti upravlinnya artyleriys'koyu rozvidkoyu. [Study of the capabilities of the software and hardware complex "MAPA" to optimize the process of collecting and processing intelligence at the control point of artillery reconnaissance]. *Military Technical Collection*. Lviv, 2019. № 23, pp. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.23.2020.58-64>. (Accessed 13 September 2021). [in Ukrainian].

3. Tkachuk P.P., Zhyvchuk V.L., Lytvyn V.V. and Obors'ka O.V. (2015), Pidkhid do pobudovy prohrannoho zabezpechennya zboru, peredachi ta obrobky rozvidual'nykh danykh v ASU taktychnoyi lanky. [Approach to building software for collecting, transmitting and processing intelligence in the ACS tactical unit]. *Military Technical Collection*. Lviv, 2015. № 13. pp. 61-64. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.13.2015.61-64>. (Accessed 13 September 2021). [in Ukrainian].

4. Chen X., Wang D., Huang H. and Wang Z. (2014) Verification and Validation in Railway Signalling Engineering – An Application of Enterprise Systems Techniques. *Enterprise Information Systems*. № 8 (4). pp. 490–511. DOI: <https://doi.org/10.1080/17517575.2013.835071>. (Accessed 27 August 2021).

5. Hrytsyuk Yu. and Andrushchakevych O.T. (2018), Zasib dlya vyznachennya yakosti prohrannoho zabezpechennya metodamy metrychnoho analizu. [A tool for determining the quality of software by metric analysis methods]. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*. Volume 28, № 6. pp. 159–171. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280631>. (Accessed 14 August 2021) [in Ukrainian]

6. Maksym Seniv, Vitaliy Yakovyna, Yaroslav Chabanyuk and Dmytro Fedasyuk (2011), The method of software reliability evaluation and prediction based on the model with dynamic index of project size. *International Journal of Computing*, Volume 10, Issue 2, pp. 97–107. (Accessed 23 August 2021).

7. M. Pavlenko, S. Osievskyi and Yu. Daniuk (2021), Methodological foundation for improving the quality of intelligent decision-making system software. *Systemy obrobky informatsiyi*. № 1 (164). pp. 55–64. DOI: <https://doi.org/10.30748/soi-2021.164.06>. (Accessed 03 August 2021).

8. Gritsyuk, Yu and Mukha, T. (2020). Methods of determination of quality of software. *Scientific Bulletin of UNFU*. № 30. pp. 158–167. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300127> (Accessed 2.08.2021)

9. Azar D., Harmanani H., and Korkmaz R. (2009), A hybrid heuristic approach to optimize rule-based software quality estimation models. *Information and Software Technology*, № 51 (9), pp. 1365–1376. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2009.05.003>. (Accessed 27 August 2021).

10. Boehm J. (2008). A new Standard for Quality Requirements. *IEEE Software*, № 25 (2), pp. 57–63. DOI: <https://doi.org/10.1109/MS.2008.30>. (Accessed 15 September 2021).

11. Challa J.S., Paul A., Dada Y., Nerella V., Srivastava P.R., and Singh A.P. (2011), Integrated Software Quality Evaluation: A Fuzzy Multi-Criteria Approach. *Journal of Information Processing Systems*, № 7(3), pp. 473–518. DOI: <https://doi.org/10.3745/JIPS.2011.7.3.473>. (Accessed 20 September 2021).

12. Ghanbari H., Vartiainen T., and Siponen M. (2018), Omission of Quality Software Development Practices: A Systematic Literature Review. *ACM Computing Surveys*, № 51(2). DOI: <https://doi.org/10.1145/3177746>. (Accessed 23 September 2021).

13. Gül Çalıklı and Ayşe Başar Bener. (2013), Influence of Confirmation Biases of Developers on Software Quality: An Empirical Study. *Software Quality Journal*. № 21(2),

pp. 377–416. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11219-012-9180-0>. (Accessed 23 September 2021).

14. Volska K.O. (2019), Poryadok otsinky yakosti prohramnykh produktiv dlya vedennya bukhhalterskoho obliku. [The procedure for assessing the quality of software products for accounting]. *Problems of theory and methodology of accounting, control and analysis*. № 2 (43). pp. 22-28. DOI: [http://dx.doi.org/10.26642/pbo-2019-2\(43\)-22-28](http://dx.doi.org/10.26642/pbo-2019-2(43)-22-28). (Accessed 19 August 2021). [in Ukrainian].

15. DSTU ISO/IES 9126-1:2013 (ISO/IES 9126-1:2001, IDT) (2013), «Natsionalnyy standart Ukrayiny. Prohramna inzheneriya. Yakist produktu. Chastyna 1. Model yakosti» [National standard of Ukraine. Software Engineering. Product quality. Part 1. Quality model.]. *National standard of Ukraine* URL: <https://metrology.com.ua/.../dstu-iso-ies-9126-1-2013>. (Accessed 13 August 2021). [in Ukrainian].

16. Standart ISO 9000-3 (DSTU ISO 9003-95; EN 29003). «Zahal'ne kerivnytstvo yakystyu i standarty po zabezpechennyyu yakosti. CH. 3. Kerivni vkazivky do zastosuvannya standartu ISO 9001 pry rozrobsi, postachannya ta obsluhovuvannya prohramnoho zabezpechennya / Kataloh standartiv» [General quality management and quality assurance standards. Part 3. Guidelines for the application of ISO 9001 in the development, supply and maintenance of software. Catalog of standards]. URL: <http://www.docme/doc/832291/iso-9000-3>. (Accessed 13 August 2021). [in Ukrainian]

17. Standard ISO/IEC 25010:2011 (2011), «Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models / Standards catalogue». URL: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=35733 (Accessed 23 August 2021)

18. Report on the results of the scientific experiment (2020), «Doslidzhennya vplyvu kompleksiv zasobiv avtomatyzatsiyi na tochnist i operatyvnist pidhotovky danykh dlya strilby artyleriyiskykh system» [Study of the impact of automation systems on the accuracy and efficiency of data preparation for firing artillery systems]. Lviv: NASV, 2018, № 27-NOV-2018 . 44 p. [in Ukrainian]

19. Final report of the SRW (2015), «Utochnennya vymoh do kompleksu zasobiv avtomatyzatsiyi upravlinnya vohnem artyleriyiskykh pidrozdiliv. Shyfr «PAVUTYNA». [Clarification of the requirements for a set of automation of fire control of artillery units]. Lviv: NASV, 248 p. [in Ukrainian]

20. Budaretsky Yu.I., Shchavinsky Yu.V., Ivanyk Ye.H., Bakmat M.V. and Oliynyk M.Ya. (2020), «Udoskonalennya matematychnoho zabezpechennya kompleksu zasobiv avtomatyzatsiyi dlya vedennya vohnyu artyleriyiskymy systemamy». [Improving the mathematical support of a set of automation tools for firing artillery systems]. *Weapons and military equipment: Scientific and Technical Journal*. № 2 (26). Kyiv: TSNDI OVT, 2020. pp. 94-102. DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).94-102](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).94-102) (Accessed 21 September 2021) [in Ukrainian]

21. Polehenko A.F., Krukovskyy-Synevych K.B. and Korostylov O.P. (2011), «Metod analiza yerarkhyi: nekotorye aspekty praktycheskoho prymerenyya: monohrafiya» [Method of analysis of hierarchies: some aspects of practical application: monograph]. Kyiv: Ukrainian CSRI VVT VS. p 152. [in Russian]

22. Thomas L. Saaty (1990), How to make a decision: The analytic hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, Volume 48, Issue 1, pp. 9-26, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I) (Accessed 23 August 2021).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Ю.И. Бударецкий, Ю.В. Щавинский, В.В. Кузнецов, С.Т. Николаев

В статье проведен анализ современного состояния методов оценки программного обеспечения комплексов средств автоматизации управления огнем артиллерийских систем, поступающих на вооружение артиллерийских подразделений Сухопутных войск Вооруженных Сил Украины. Определена актуальная проблема проведения проверки и сертификации разработанных образцов специального программного обеспечения таких комплексов, которая заключается в отсутствии установленных процедур оценивания, большой субъективной составляющей в существующих методиках оценки программного обеспечения, несогласованности их норм согласно государственных и международных стандартов. В предложенной концептуальной модели оценки качества программного обеспечения определены новые метрики, которые будут характеризовать специальное программное обеспечение, обеспечивающее функционирование комплексов средств автоматизации управления огнем артиллерийских подразделений при выполнении ими задач огневого поражения и которое отражает особенность применения артиллерийских систем. Для оценки предложенных новых метрик определены и обоснованы элементы их оценки и математический аппарат для проведения расчетов. Для определения величины влияния показателей на общее качество программного обеспечения предложен новый подход, который заключается в применении метода анализа иерархий при определении приоритета показателей элементов, метрик, критериев и факторов на каждом уровне иерархии. Применение многокритериального анализа метода анализа иерархий обеспечивает избежание субъективности экспертов при оценке качества специального программного обеспечения, позволяет выявить узкие места в разработанных тактико-технических требованиях к программному обеспечению указанных комплексов средств автоматизации артиллерийских систем и учитывает взаимное влияние показателей на общее качество. Определенная усовершенствованная методика, которая более полно охватывает процесс оценки программного обеспечения, в дальнейшем будет основой для создания системы обеспечения качества программных средств комплексов средств автоматизации и формирования инструмента для их сертификации.

Ключевые слова: программное обеспечение, метод анализа иерархий; стандарты качества; требования к программному обеспечению; критерии оценки качества программного обеспечения; показатели качества программного обеспечения.

APPLICATION OF THE METHOD OF ANALYSIS OF HIERARCHIES TO ASSESS THE SOFTWARE OF COMPLEXES OF AUTOMATION MEANS

Y. Budaretskiy, Y. Shchavinskiy, V. Kuznetsov, S. Nikolayev

The article analyzes the current state of the methods for assessing the software of complexes of automation of fire control of artillery systems supplied to the artillery units of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine. The actual problem of verification and certification of the developed samples of special software of such complexes is determined, which consists in the absence of established assessment procedures, a large subjective component in the existing methods for assessing software, the inconsistency of their norms in accordance with state and international standards. In the proposed conceptual model for assessing the quality of software, new metrics have been defined that will characterize special software that ensures the functioning of complexes of fire control automation systems for artillery subunits when they perform fire engagement tasks and which reflects the peculiarity of the use of artillery systems. To assess the proposed new metrics, the elements of their assessment and the mathematical apparatus for carrying out calculations are determined and substantiated. To determine the magnitude of the influence of indicators on the overall quality of software, a new approach is proposed, which consists in applying the method of analyzing hierarchies when determining the priority of indicators of elements, metrics, criteria and factors at each level of the hierarchy. The use of multicriteria analysis of the hierarchy analysis method ensures that the subjectivity of experts is avoided when assessing the quality of special software, it makes it possible to identify bottlenecks in the developed tactical and technical requirements for the software of the indicated complexes of automation tools for artillery systems and takes into account the mutual influence of indicators on the overall quality. A certain improved methodology, which more fully covers the software assessment process, will in the future be the basis for creating a quality assurance system for software of automation systems and forming a tool for their certification.

Key words: software, hierarchy analysis method; quality standards; software requirements; criteria for assessing the quality of software; software quality indicators.

УДК: 621.317.37

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.12-23>С.О. Тишко¹, О.О. Лаврут², В.Г. Смоляр³, О.Є. Забула⁴, Ю.М. Черніченко⁴

¹ Харківське представництво генерального замовника – Державного космічного агентства України, Харків

² Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

³ Коледж сержантського складу Військового інституту телекомунікації та інформатизації імені Героїв Крут, Полтава

⁴ Національна академія Національної гвардії України, Харків

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФАЗОВОГО ЗСУВУ СИГНАЛІВ З РІВНИМИ АМПЛІТУДАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОПІВПЕРІОДНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗБРОЄННЯ

В статті визначено перелік технічних характеристик озброєння та військової техніки (ОВТ), значення яких вимірюється із застосуванням фазових методів. Проведено аналіз відомих методів, що знайшли широке застосування у вимірювальній техніці, яка призначена для визначення технічних характеристик, пов'язаних з вимірюванням фазового зсуву під час розробки, виготовлення та експлуатації ОВТ. На підставі даного аналізу було визначено, що вимірювальні системи, призначені для визначення фазового зсуву двох гармонічних сигналів, у своєму складі мають два канали передачі інформації. Ця архітектура реалізації вимірювальних систем приводить до того, що суттєвий вплив на точність вирішення запропонованої вимірювальної задачі має складова похибки, обумовлена фазовою несиметрією каналів передачі сигналів, а також внутрішні та зовнішні шуми. В якості альтернативного підходу рішення вимірювальної задачі визначення фазового зсуву двох гармонічних сигналів, який дозволить суттєво зменшити складову похибки, обумовлену фазовою несиметрією каналів передачі інформації, запропоновано використовувати сигнал, отриманий при сумуванні гармонічних сигналів після проведення двопівперіодного перетворення з подальшим проведенням його спектрального аналізу. З метою реалізації вищезазначеного підходу проведено постановку завдання з визначення фазового зсуву двох гармонічних сигналів, з використанням спектрального аналізу сигналу, отриманого при сумуванні гармонічних сигналів після проведення їх двопівперіодного перетворення. Визначено перелік припущень,