УДК 355.424:518.5
DOI: https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).10-19

**В. В. ЗУБАРЕВ,** *доктор технічних наук, професор*
*https://orcid.org/0000-0002-4998-726X*

**Б. М. ЛАНЕЦЬКИЙ,** *доктор технічних наук, професор*
*https://orcid.org/0000-0001-5889-0307*

**О. О. ЗВЄРЄВ,** *кандидат технічних наук, доцент*
*https://orcid.org/0000-0003-2274-3115*
*(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)*

**В. В. ЛУК'ЯНЧУК,** *доктор технічних наук, професор*
*https://orcid.org/0000-0001-5695-7723*

**І. М. НІКОЛАЄВ,** *кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*
*https://orcid.org/0000-0002-1250-9918*
*(Харківський національній університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків)*

# МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО СИСТЕМ (КОМПЛЕКСІВ) ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ

*Сформульовані науково-методологічні аспекти рішення задачі обґрунтування тактико-технічних вимог до систем (комплексів) зенітного ракетного озброєння на етапі зовнішнього проєктування з використанням інтерактивних систем імітаційного моделювання, які описують процеси конфліктно-інформаційної взаємодії системи (комплексу) зенітного ракетного озброєння з засобами повітряного нападу. Обґрунтовано, що ці системи моделювання повинні бути сукупністю взаємозв'язаних аналітичних, імітаційних та статистичних моделей, що описують процеси функціонування систем (комплексів) зенітного ракетного озброєння у складі тактичної групи зенітних ракетних військ при виконанні бойових задач альтернативними варіантами складу їх бойових засобів. Показано, що суть задачі обґрунтування тактико-технічних вимог полягає у визначенні сукупності раціональних значень показників і характеристик, якими система (комплекс) зенітного ракетного озброєння повинна володіти для виконання бойових задач в прогнозованих умовах ведення бойових дій. Наведені вимоги до моделей імітаційного моделювання, перелік основних подій, які мають фіксуватися в процесі моделювання протиповітряного бою, перелік заходів щодо інформаційного забезпечення процесів моделювання бойових дій, перелік початкових даних і порядок їх підготовки, а також послідовність застосування моделей для отримання оцінок показників ефективності протиповітряних бойових дій системами (комплексами) зенітного ракетного озброєння.*

***Ключові слова:*** *обґрунтування, зенітна ракетна система, тактико-технічні вимоги, тактико-технічні характеристики, інтерактивна система імітаційного моделювання.*

## ВСТУП

Сучасні системи і комплекси зенітного ракетного озброєння (ЗРО) є складними виробами військової техніки, які включають в свій склад значну кількість бойових і технічних засобів (підсистем), що забезпечують вирішення усього комплексу задач знищення аеродинамічних і балістичних засобів повітряного нападу (ЗПН) в широкому діапазоні висот і швидкостей їх практичного застосування [1, 2]. Загальною закономірністю розвитку ЗРО є безперервне його ускладнення, що супроводжується істотним збільшенням термінів розробки, витрат на їх створення і серійне виробництво.

Безперервне зростання бойових можливостей ЗПН та підвищення їх ролі в досягненні стратегічних цілей сучасної війни [3, 4] висувають нові вимоги до якості обґрунтування оперативно-тактичних і тактико-технічних вимог (ТТВ) до перспективної системи (комплексу) ЗРО конкретного типу на етапі її концептуального проєктування [5, 6]. Під ТТВ розуміють певну номенклатуру тактико-технічних (ТТХ) і експлуатаційно-технічних характеристик (ЕТХ) і параметрів, що повністю визначають бойові та експлуатаційні властивості системи (комплексу) ЗРО. Ухвалення недостатньо обґрунтованих рішень стосовно номенклатури і значень основних ТТХ і ЕТХ може привести до невиправданих витрат матеріальних засобів і втрати часу, а у кінцевому випадку – до зриву створення системи (комплексу) ЗРО. Тому задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО на теперішній час має актуальне значення.

Досвід бойових дій розвинених країн світу показує, що ефективним інструментом обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО повинна бути технологія повномасштабного моделювання, яка враховує особливості застосування системи (комплексу) за призначенням з урахуванням особливостей її функціонування в різних прогнозованих умовах бойового застосування.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема створення сучасних видів ЗРО на базі нових досягнень в науково-технологічній сфері знаходить своє віддзеркалення у великій кількості монографій, статей та інших публікацій, число яких в розвинених країнах світу з кожним роком росте. Всі ці публікації по ступеню значущості і обхвату цієї проблеми можуть бути розділені на три групи, до першої з яких відносяться монографії та інші наукові праці [1, 2, 7–11], до другої – періодичні видання і наукові статті [3, 4, 12–21], а до третьої – правові, нормативні, організаційно-методичні та інші документи [22, 23]. Серед цих робіт важливе міс-

це займають монографії [1, 2, 7–10], в яких з системної точки зору визначені шляхи розвитку і впровадження в зразки озброєння та військової техніки нових технологій на основі програмно-цільового і еволюційно-технологічного підходів.

В умовах наявності широкого спектру обмежень (економічного, виробничого, військово-політичного, військово-технічного і оперативно-тактичного характеру) завдання обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу зводиться до завдання прогнозного оцінювання їх основних ТТХ, ЕТХ і техніко-економічних характеристик на основі аналізу можливих сценаріїв бойових дій в майбутніх військових конфліктах. Аналіз результатів приведених досліджень показує, що рішення цієї задачі ускладнюється недостатньою опрацьованістю науково-методичного апарату обґрунтування ТТВ до перспективних систем (комплексів) ЗРО. До теперішнього часу немає чіткого розуміння алгоритму визначення і логічної побудови усієї послідовності ТТХ і ЕТХ системи (комплексу) ЗРО конкретного типу, які відповідають вирішуваним завданням і мають оптимальне співвідношення «ефективність – вартість».

**Мета статті** – сформулювати методологічні аспекти щодо створення і використання моделей бойових дій для вирішення задачі обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу на етапі її зовнішнього проєктування.

## РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Метою створення моделі бойових дій є визначення раціональних значень ТТХ та оцінка показників бойової ефективності системи (комплексу) ЗРО при оптимальному значенні її основних ТТХ. Спосіб реалізації моделі повинен полягати у формалізованому опису логіки функціонування перспективної системи (комплексу) ЗРО, яка пропонується до розробки, відповідно до своїх аналогів в реально протікаючому процесі. При моделюванні необхідно відобразити склад, структуру і алгоритми бойового функціонування системи (комплексу) ЗРО. При цьому залежно від мети моделювання можуть застосовуватися різні варіанти складу, структури та алгоритмів функціонування системи (комплексу) ЗРО для різних варіантів оцінки її бойової ефективності. Ця вимога передбачає необхідність розробки моделі конкретної системи (комплексу) ЗРО як складну модель її підсистем, які представляються взаємозв'язаними компонентами.

Труднощі вирішення задачі обґрунтування ТТВ обумовлені тим, що на етапі зовнішнього проєктування система (комплекс) ЗРО не має конкретного конструктивного втілення і повинна представлятися у вигляді альтернативних варіантів складу бойових і технічних засобів (підсистем), необхідних для виконання заданого обсягу бойових задач в прогнозованих умовах ведення бойових дій [5, 11].

Найважливіше місце серед методів математичного моделювання займають інтерактивні імітаційні системи моделювання, які забезпечують можливість дослідження сценаріїв великомасштабного застосування ЗПН і угруповань ЗРВ у вигляді ігрового імітаційного машинного експерименту [12, 15]. Така система моделювання повинна бути комплексом математичних моделей (КММ), що описують функціонування системи (комплексу) ЗРО та її складових частин, а також вирішуваних на її основі розрахункових бойових задач, пов'язаних з єдиною базою даних [14, 18]. До складу КММ повинні входити моделі, що описують функціонування угруповання ЗРВ, а також моделі, що описують функціонування існуючих типів ЗРС і ЗРК, що входять до складу угруповання ЗРВ. При цьому повинна бути забезпечена подібність структури і алгоритмічного забезпечення цих моделей структурі і алгоритмічному забезпеченню систем (комплексів) ЗРО відповідних типів. При цьому ТТХ і алгоритмічний опис перспективної системи (комплексу) ЗРО в моделі представляється на спрощеному логіко-подієвому рівні. Надалі опис системи (комплексу) ЗРО в моделі деталізується і ускладнюється у міру просування її розробки і відповідно до уточнення ТТХ.

Створення інтерактивної системи математичного моделювання для обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО передбачає формування сукупності аналітичних, імітаційних та статистичних моделей, що описують як технічні питання формування альтернативних варіантів елементів системи (комплексу) ЗРО, так і питання військово-економічної оцінки її створення і застосування [12–18].

Обґрунтування показників бойової ефективності системи (комплексу) ЗРО передбачає розробку типового сценарію функціонування цієї системи (комплексу) в очікуваних умовах бойового застосування для визначення кількісних характеристик вирішуваних бойових задач. Вирішення цієї задачі повинне здійснюватися в процесі математичного моделювання різних варіантів ведення бойових дій угрупуваннями ППО при відбитті повітряних ударів противника із застосуванням перспективних ЗПН в можливій війні. При цьому обґрунтування ТТВ здійснюється в процесі моделювання протиповітряних бойових дій системи (комплексу) ЗРО у вигляді сукупності дуельних протиповітряних БД з ЗПН різного типу. У зв'язку з великою розмірністю задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного цільового призначення повинна вирішуватися методом декомпозиції на основі аналізу обсягу і змісту бойових задач, що покладаються на цю на систему (комплекс) в прогнозованих умовах ведення бойових дій [12–21].

Інтерактивна математична модель бойового функціонування системи (комплексу) ЗРО повинна відображати структурно-функціональне представлення процесу застосування системи (комплексу) у складі системи озброєння угруповання ЗРВ, яка відображає виконання того або іншого розрахункового бойового завдання (РБЗ) з певної сукупності РБЗ розрахункового сценарію.

Схема процесу обґрунтування ТТВ до систем (комплексів) ЗРО з використанням комплексу математичних моделей приведена на рис. 1.

Складність задачі обґрунтування ТТВ обумовлена складною структурою систем (комплексів) ЗРО та великою номенклатурою характеристик і параметрів, до яких повинні пред'являтися вимоги. Тому при обґрунтуванні ТТВ кожна складова частина та система

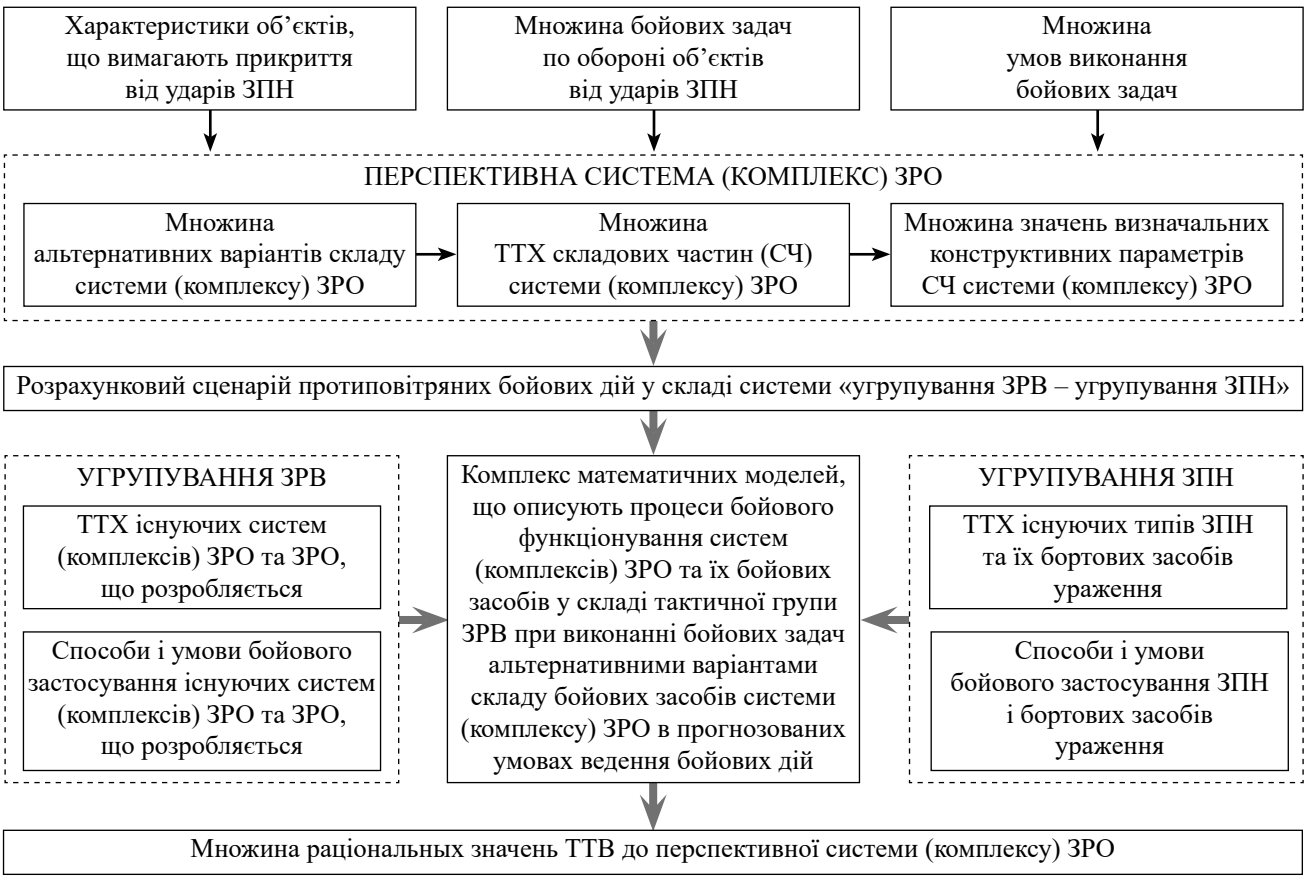


Рис. 1. Структурна схема процесу обґрунтування тактико-технічних вимог до систем (комплексів) ЗРО

(комплекс) ЗРО у цілому представляються деякою сукупністю (вектором) вимог $y_i$, $i \in [1, m]$, рівневі значення яких підлягають визначенню. Кожна вимога $y_i$, $i \in [1, m]$ визначається безліччю технічних характеристик, а кожна характеристика $x_{ij}$ – безліччю (вектором) геометричних і конструктивних параметрів $\{\pi_{ijk}\}$, $k \in [1, r]$. Для обґрунтування раціональних значень ТТХ системи (комплексу) ЗРО вектор конструктивних параметрів $\{\pi_{ijk}\}$ підрозділяється на визначаючі параметри $\{\pi^0_{ijk}\}$, що змінюються в процесі оптимізації значень ТТВ складових частин системи (комплексу) ЗРО, і вторинні параметри $\{\pi^B_{ijk}\}$, які вважаються незмінними [11]. Переліки визначальних і вторинних параметрів для кожної складової частини (підсистеми) системи (комплексу) ЗРО складається на підставі досвіду і попереднього аналізу чутливості показників ефективності та витрат на створення системи (комплексу) ЗРО конкретного типу.

Конкретний перелік ТТХ, до яких повинні пред'являтися вимоги, обумовлюється обрисом і призначенням системи (комплексу) ЗРО, характером вирішуваних задач, необхідним рівнем ефективності їх виконання і умовами застосування системи (комплексу) за призначенням. У якості основних ТТХ складових частин на стадії обґрунтування ТТВ доцільно використовувати [11]:

- для розвідувально-інформаційних засобів − типи і кількість, дальності виявлення і захоплення цілей різних типів по заданих рівнях вірогідності, сектори огляду по азимуту і куту місця, період огляду, кількість одночасно супроводжуваних цілей, точність вимірювання їх координат і параметрів руху;

– для пункту бойового управління – їх типи і кількість керованих засобів; кількість одночасно оброблюваних цілей; цикл вирішення задач управління; точність і час цілевказання;

– для засобів супроводження цілей і наведення ракет − кількість одночасно супроводжуваних цілей, кількість цільових і ракетних каналів, робітний час;

– для пускової установки − кількість ПУ та ЗКР на ПУ, час заряджання (перезарядження) ПУ, вид старту та інтервал між пусками ракет;

– для ЗКР − зона ураження, середня швидкість польоту, ймовірність ураження певних типів цілей в характерних точках зони ураження.

Оскільки бойові засоби в процесі застосування системи (комплексу) ЗРО взаємодіють між собою, значення їх ТТХ повинні бути узгоджені. Ця умова означає необхідність узгодження дальності дії засобів виявлення і супроводження цілей, а також дальності дії апаратури наведення ЗКР з розмірами зони ураження системи (комплексу) ЗРО для конкретних типів ЗПН.

Тому, задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО полягає в знаходженні такого поєднання сумісних вимог, основних характеристик і конструктивних параметрів з діапазонів їх можливих змін, при якому критерій ефективності виконання бойових задач системою (комплексом) ЗРО прийняв би значення, не менш заданого.

Обґрунтування ТТВ до перспективної системи (комплексу) ЗРО конкретного типу здійснюється на основі оперативно-тактичних вимог (ОТВ), сформованих на етапі розробки задуму (концепції) її створення [9, 23].

Обґрунтування ТТВ до систем (комплексів) ЗРО здійснюється в рамках розрахункового сценарію, під яким розуміють впорядковану за цільовим призначенням і часу сукупність розрахункових бойових задач (РБЗ), які повинні бути виконані тактичною групою ЗРВ протягом заданого часу ведення бойових дій. При цьому оцінюється ефективність виконання системою (комплексом) ЗРО тієї або іншої РБЗ з їх певної сукупності згідно розрахункового сценарію. Розрахункова бойова задача характеризується:

– номенклатурою і чисельністю ЗПН як об'єктів дії системи (комплексу) ЗРО;

– умовами застосування і базування системи (комплексу) ЗРО;

– номенклатурою і чисельністю засобів протидії системі (комплексу) ЗРО з боку ЗП противника;

– особливостями бойового управління системою (комплексом) ЗРО і забезпечення її (його) застосування для заданого району ведення бойових дій.

Умови виконання РБЗ можуть розрізнятися по місцю, області бойових дій, часу, метеоумовам, бойовим порядкам, базуванню, обстановці (радіаційною, хімічною), бойовій напрузі, об'єктам дії, засобам протидії противника, тактичним прийомам дії, забезпеченню, бойовому управлінню, взаємодії.

Кожна РБЗ може бути представлена безліччю розрахункових типових задач, що характеризують, зокрема, типаж об'єктів дії та їх характеристики, а також способи виконання РБЗ. Під розрахунковою типовою задачею слід розуміти обстріл типової цілі на необхідному рубежі заданою кількістю ЗКР. При цьому кількість типових задач визначатиметься умовами застосування системи (комплексу) ЗРО за призначенням (при природних зовнішніх впливаючих чинниках, відсутності та наявності перешкод тощо) та сукупністю типових цілей, з якими повинна ця система (комплекс) боротися.

Розрахункові сценарії і РБЗ повинні розглядатися як одні з основних елементів початкових даних, від яких в істотному ступені залежать повнота і об'єктивність результатів оцінювання показників ефективності бойового застосування системи (комплексу) ЗРО конкретного типу методами імітаційного моделювання.

Порядок розробки системи моделей на основі розрахункових сценаріїв і РБЗ може бути представлений трьома етапами:

1) на першому етапі формуються типові тактичні схеми вирішення РБЗ;

2) на другому етапі на основі тактичних схем відпрацьовуються структурні схеми моделей функціонування системи (комплексу) ЗРО, в яких ув'язуються основні етапи її бойового циклу;

3) на третьому етапі розробляються просторово-часові схеми вирішення РБЗ.

Схема процесу моделювання бойових дій наведена на рис. 2.

Наявність великої кількості чинників, що роблять вплив на ефективність бойового функціонування системи (комплексу) ЗРО при виконанні бойових задач, обумовлює необхідність застосування для обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО сучасних інформаційних технологій, в основі яких лежать комп'ютерні моделі, що адекватно відображають процеси, які відбуваються в системі (комплексу) ЗРО та її складових частинах (бойових засобах) в різних режимах їх функціонування.

Комп'ютерний (віртуальний) експеримент за оцінкою ефективності стрільби системи (комплексу) ЗРО по цілі заданого типу повинен забезпечувати фіксацію в реальному часі та подальший аналіз процесів виявлення, впізнавання і розпізнавання цілі, захоплення її на супроводження, підготовку до пуску і пуск заданої кількості ракет, наведення ракет на ціль, підрив бойової частини ракет в точці зустрічі з ціллю.

В процесі моделювання (проведення модельних експериментів) можуть бути отримані окремі випадкові реалізації результатів функціонування системи (комплексу) ЗРО за заданих умов повітряної обстановки. Для отримання високоточних оцінок показників ефективності у вигляді параметрів законів розподілу необхідне накопичення статистики як при одних і тих же варіантах повітряної обстановки, так і при різних варіантах обстановки.

Комп'ютерні моделі повинні забезпечувати:

– імітацію повітряної та перешкодової обстановки, яка повинна розраховуватись на ЗПН і засоби РЕБ, що можуть з'явитися у противника в досяжній перспективі;

– проведення великої кількості модельних експериментів в умовах, максимально наближених до прогнозованих умов бойового застосування системи (комплексу) ЗРО;

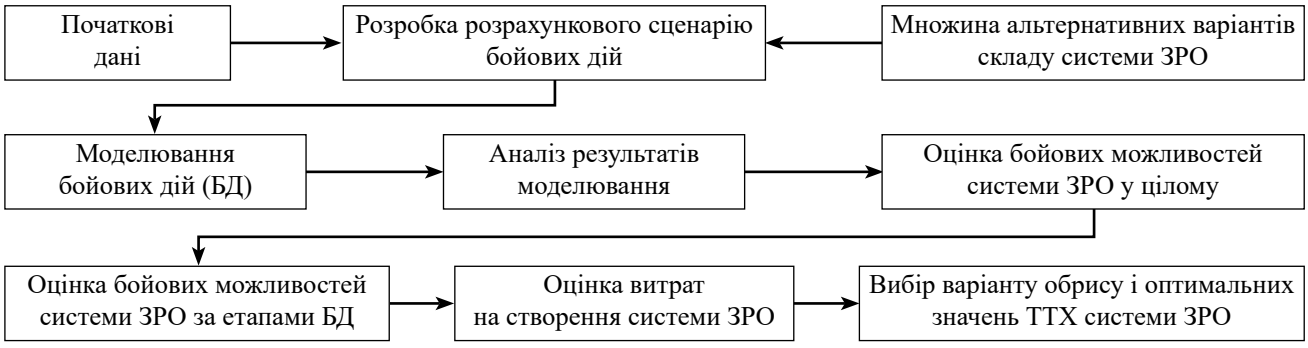


Рис. 2. Загальна схема процесу моделювання бойових дій при обґрунтуванні вимог до характеристик і параметрів системи (комплексу) ЗРО конкретного типу

– можливість генерації альтернативних варіантів складу бойових засобів для вирішення бойових задач, що покладаються на систему (комплекс) ЗРО;

– можливість генерації номенклатури основних ТТХ, а також переліку і значень визначальних параметрів складових частин для різних варіантів складу системи (комплексу) ЗРО;

– аналіз ефективності функціонування системи (комплексу) ЗРО та її складових частин (розвідувально-інформаційних засобів, ПБУ, вогневих засобів) для різних альтернативних варіантів складу і значень визначальних параметрів складових частин;

– аналіз ефективності стрільби ЗКР по цілях різних типів за відсутності та наявності перешкод та при використанні інтенсивних маневрів цілей [19];

– обґрунтування раціональних значень ТТХ системи (комплексу) ЗРО (зона виявлення, зона ураження, точність супроводження тощо).

У зв'язку зі складністю і великою розмірністю задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу вирішується методом декомпозиції на послідовність наступних взаємозв'язаних етапів її рішення, до яких відносяться [13–21]:

– аналіз бойових задач по прикриттю об'єктів і військ від ударів ЗПН і умов їх виконання системою (комплексом) ЗРО у складі угрупування ЗРВ;

– формування типових умов і способів бойового застосування перспективної системи (комплексу) ЗРО конкретного цільового призначення;

– аналіз ТТХ і способів бойового застосування ЗПН;

– формування структури і складу нальоту ЗПН;

– формування безлічі РБЗ по відбиттю ударів ЗПН конкретних типів і умов їх виконання перспективною системою (комплексом) ЗРО;

– генерація безлічі можливих альтернативних варіантів складу бойових і технічних засобів системи (комплексу) ЗРО з урахуванням досягнутого рівня нових технологій і технічних рішень;

– визначення переліку основних ТТХ складових частин для кожного альтернативного варіанту складу перспективної системи (комплексу) ЗРО;

– вибір номенклатури і генерація безлічі значень визначальних конструктивних параметрів основних ТТХ складових частин (підсистем) для кожного альтернативного варіанту складу системи (комплексу) ЗРО;

– розробка моделей, що описують процеси конфліктно-інформаційної взаємодії перспективної системи (комплексу) ЗРО і ЗПН для різних розрахункових сценаріїв ведення бойових дій;

– моделювання і оцінка ефективності виконання РБЗ альтернативними варіантами побудови системи (комплексу) ЗРО по відбиттю нальоту ЗПН в типових (прогнозованих) умовах бойового застосування для кожного варіанту значень основних параметрів складових частин системи (комплексу) ЗРО;

– оцінка за результатами моделювання раціональних значень основних ТТХ системи (комплексу) ЗРО та її бойових засобів за результатами відбиття нальоту ЗПН на заданих рубежах;

– оцінка вартості системи (комплексу) ЗРО для різних варіантів її побудови;

– формування раціональних значень ТТВ до системи (комплексу) ЗРО за критерієм «ефективність-вартість» з урахуванням безлічі умов функціонування.

Основним принципом створення і функціонування моделі інформаційно-конфліктної взаємодії системи (комплексу) ЗРО і ЗПН є принцип імітації та математичного моделювання основних інформаційних і динамічних процесів, що протікають на етапі бойових дій. При цьому повинні враховуватися наступні випадкові чинники:

– вплив рельєфу місцевості на дальність початку інформаційного контакту бортового комплексу ЗПН з ціллю (об'єктом удару);

– виявлення випромінювання системи (комплексу) ЗРО бортовою станцією радіотехнічної розвідки ЗПН і пуск протирадіолокаційних ракет;

– виявлення системи (комплексу) ЗРО і об'єктів, що обороняються, оптико-электронною оглядово-прицільною системою бортового комплексу ЗПН і пуск зброї класу «повітря − поверхня»;

– виявлення ЗПН інформаційними засобами системи (комплексу) ЗРО;

– захоплення цілі радіолокаційною головкою самонаведення ЗКР та ураження цілі ЗКР;

– ураження керованими ракетами класу «повітря − поверхня» бойових засобів системи (комплексу) ЗРО;

– ураження ЗПН наземних об'єктів та систем (комплексів) ЗРО.

При моделюванні операції відбиття нальоту ЗПН динаміка бойових дій сторін розглядається хронологічно від події до події, причому подією вважається факт зміни стану «система (комплекс) ЗРО − група ЗПН». Тому однією з задач при розробці моделі є синхронізація всіх модельованих об'єктів за часом, тобто правильне відображення порядку і часових відносин між змінами в процесі бойових дій на порядок виконання подій в моделі. При безперервному представленні часу вважається, що існує єдиний для всіх об'єктів годинник, який показує єдиний час. Передача інформації між об'єктами відбувається миттєво і таким чином, звіряючись з єдиним годинником, встановлюється часова послідовність всіх подій, що відбувалися. Якщо в моделі існують об'єкти з дискретним представленням часу, для формування єдиного годинника моделі необхідно об'єднати безліч часових відліків моделей об'єктів. Синхронізувати моделі об'єктів з подієвим часом можна тільки явно, шляхом передачі сигналу про настання події. Для цього необхідна управляюча програма-планувальник, яка і визначає необхідний хронологічний порядок виконання подій.

Для системи (комплексу) ЗРО основними подіями [11] є виявлення цілей РЛС кругового огляду (зі складу комплексу ЗРО), узяття цілі на обслуговування (операції виявлення та захоплення на супроводження, пуска, наведення і контролю результатів стрільби), підрив бойової частини ЗКР, звільнення каналу супроводження цілі.

Для ЗПН основними подіями [11] є пошук і виявлення наземних цілей з виконанням маневрів входу в зону можливих пусків і пуск бойових засобів або виходу із зони ураження системи ЗРО, підрив бойової частини зброї

класу «повітря − поверхня». Моделювання функціонування системи (комплексу) ЗРО і ЗПН за допомогою імітаційного методу дозволяє отримати статистичні характеристики всіх даних станів системи «система (комплекс) ЗРО – наліт ЗПН» в довільний момент часу. Основними показниками ефективності, які обчислюються за допомогою моделі, є ймовірність знищення цілі (або відносна кількість уражених цілей), ймовірність виживання системи (комплексу) ЗРО при відбитті нальоту ЗПН.

Як показники ефективності можливо розглядати математичні сподівання і середні квадратичні відхилення [11] розміру боєкомплекту системи (комплексу) ЗРО, що залишився невитраченим, кількості уражених протирадіолокаційних ракет або керованих ракет інших типів в нальоті, кількості невитрачених авіаційних керованих ракет, відносної кількості знищених ЗПН залежно від дальності їх ураження.

Задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО істотно ускладнюється з-за відсутності необхідної достовірної інформації про розробки і тенденції сучасного ЗРО у передових країнах.

Початковими даними для обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу є:

1) можливі варіанти сценаріїв ведення бойових дій угрупуваннями ППО в збройних конфліктах і війнах різного масштабу;

2) типи, ТТХ, варіанти побудови і напряму ударів, профілі та траєкторії польоту ЗПН, наряди ударних сил на об'єкти, що прикриваються, і засоби системи оборони, очікувані рівні протидії для різних варіантів сценаріїв ведення бойових дій;

3) дислокація, розміри, ступінь важливості об'єктів прикриття від ударів ЗПН;

4) вимоги до ефективності прикриття об'єктів від ударів ЗПН;

5) типаж і ТТХ існуючого ЗРО та ЗРО, що розробляється, і можливі способи його бойового застосування в різних варіантах сценаріїв ведення бойових дій;

6) характер рельєфу та профілі місцевості в районах об'єктів прикриття, позицій засобів системи оборони і на напрямах ймовірних ударів ЗПН;

7) вартісні характеристики існуючого ЗРО та ЗРО, що розробляється, включаючи вартісні характеристики експлуатації парка ЗРО і застосування його за призначенням в ході ведення бойових дій.

Обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу на основі приведених положень може бути реалізоване у вигляді деякого алгоритму, відповідно до якого рішення цієї задачі повинне здійснюватися в наступній послідовності:

1) підготовка і формування початкових даних, розробка можливих сценаріїв ведення бойових дій угрупуванням ЗРВ на визначеному оперативному напрямі;

2) визначення для кожного сценарію ведення бойових дій переліку об'єктів, які підлягають прикриттю від ударів ЗПН, складу сил і засобів ЗПН, які можуть бути задіяні для ударів по обраних об'єктах, варіантів нальотів ЗПН для нанесення повітряних ударів по об'єктах (кількість і склад ударів, напрями і профілі польотів ЗПН, склад і задача груп ЗПН в кожному ударі);

3) визначення генеральної мети функціонування перспективної системи (комплексу) ЗРО і критеріїв ефективності виконання бойових задач для кожного можливого сценарію ведення бойових дій;

4) визначення методами моделювання для кожного можливого сценарію значень ТТХ бойових засобів, необхідних для виконання бойових задач, оптимального складу системи (комплексу) ЗРО, який забезпечує виконання усього обсягу бойових задач з необхідною ефективністю.

Інформаційне забезпечення технології обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО з використанням методів математичного моделювання та інформаційних технологій повинно передбачати виконання наступних робіт:

1) складання опису конфліктно-інформаційної взаємодії системи (комплексу) ЗРО в ході ведення бойових дій зі ЗПН противника, включаючи об'єкти імітації і зовнішнього середовища, основні обмеження і перелік кількісних показників ефективності системи (комплексу) ЗРО, які повинні оцінюватися при моделюванні;

2) розробка загальної математичної моделі протиповітряної операції як впорядкованого і логічно організованого набору математичних описів окремих підпроцесів і алгоритмів функціонування системи (комплексу) ЗРО (та її складових частин) і ЗПН противника;

3) складання логічного опису модельованих процесів у формі загального моделюючого алгоритму;

4) програмування і відладка моделі на основі універсальної мови високого рівня, перевірка адекватності моделі;

5) організація і реалізація плану експерименту, реєстрація і накопичення результатів, що отримуються в процесі моделювання;

6) аналіз і інтерпретація результатів модельного експерименту у формі виводів і висновків.

**ВИСНОВКИ**

У сучасних умовах посилюється роль системного підходу до розробки комплексів (систем) ЗРО. При цьому комплекс (система) ЗРО розглядається як елемент бойової системи, що поєднує в єдине ціле усіх учасників бойових дій. Суть завдання обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу полягає в тому, щоб рівень її бойових і експлуатаційних властивостей привести у відповідність необхідному рівню вирішення бойових задач. Для відбору раціонального варіанту ТТВ до системи (комплексу) ЗРО доцільно використовувати представницьку множину характеристик і параметрів, яка однозначно визначає ефективність застосування цієї системи (комплексу) при різних варіантах її технічного обрису. При цьому оцінка ефективності системи (комплексу) ЗРО буде носити ітераційний характер, що вимагає взаємодію моделей і методик різних рівнів. Ітераційний процес передбачає постійний обмін інформацією між методиками суміжних рівнів, внаслідок чого відбувається уточнення початкових даних і вихідних параметрів системи (комплексу) ЗРО.

Запропоновані методологічні положення щодо обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу з використанням комплексу взаємозв’язаних аналі-

тичних, імітаційних та статистичних моделей дозволяє на етапі зовнішнього проєктування визначати номенклатуру і раціональні значення характеристик системи (комплексу) ЗРО, склад її бойових засобів (підсистем), основні режими функціонування, параметри і характеристики бойових засобів (підсистем), а також потрібний склад алгоритмів функціонування, необхідних для ефективного рішення поставлених бойових задач в очікуваних (розрахункових) умовах бойового застосування у складі угрупування ЗРВ.

**СПИСОК ПОСИЛАНЬ**


1. Демидов Б.А., Луханин М.И., Величко А.Ф., Науменко М.В. Системная методология планирования развития предпроэктных исследований и внешнего проэктирования вооружения и военной техники : монография; под ред. Б.А. Демидова. Киев: ИД «Стилос». 2011. 464 с.
2. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения; под ред. А.М. Московского. М.: Граница. 2005. 520 с.
3. Зірка А.Л., Козлов В.Г Оцінка бойових можливостей літаків тактичної авіації російської федерації у війні з Україною. Озброєння та військова техніка. 2022. № 1(33). С. 110–120. https://doi.org/1034169/2414-0651.
4. Животовський Р.М, Шинкарук О.М., Яковлев М.Ю., Варсегов А.С. Аналіз крилатих ракет повітряного базування рф у війні проти України 2022 року. Озброєння та військова техніка. 2022. № 1(33). С. 83–92. https://doi.org/1034169/2414-0651.
5. Лукьянчук В.В., Николаев И.М. Методологический подход к обоснованию облика зенитной ракетной системы на основе современного технологического базиса. Колективна наукова монографія «Сучасний стан проведення наукових досліджень у ІТ-технологіях, галузях електроніки, інженерії, нанотехнологіях та транспортній сфері». Вид. 2. 2021. https://doi.org/10.36074/csriteenat.ed-2.06.
6. Ланецкий Б.Н., Лукьянчук В.В., Кириллов И.Г., Николаев И.М. Порядок обоснования оперативно-тактических требований к системе зенитного ракетного вооружения и ее структурным компонентам. Системи озброєння і військова техніка. 2014. № 1(37). С. 51–55. http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2315.
7. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. М.: Машиностроение. 2010. 368 с.
8. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. Тверь: ООО «КУПОЛ». 2009. 624 с.
9. Архангельский И.И., Афанасьев П.П., Болотов Е.Г. Проэктирование зенитных управляемых ракет; под ред. И. С. Голубева и В. Г. Светлова. М.: МАИ. 2001. 732 с.
10. Ненартович Н.Э. Современные зенитные ракетные системы ПВО и нестратегической ПРО. Информационно-аналитическое издание «Воздушно-космическая оборона». 2010.
11. Вишнякова Л.В., Карп К.А., Малышев В.В. Формирование облика зенитного ракетного комплекса. М.: МАИ. 2003. 83 с. https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_561854.
12. Горчица Г.И., Ищук В.М., Пишко В.Н. Содержание и направления развития систем имитационного моделирования боевых действий войсковых формирований в полномасштабных технологиях виртуальной реальности. Изв. российской акад. ракетных и артиллерийских наук. 2019. № 1 (106). С. 60–69. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37098802.
13. Чуркин И.П., Костров С.А., Бегларян С.Г. Имитационное моделирование вооруженного противоборства в воздушно-космической сфере. Военная Мысль. 2018. № 9. С. 41–47.
14. Васильев В.А., Федюнин П.А., Воробьев В.А., Васильев А.В. Методологические аспекты моделирования в сфере вооруженного противоборства. Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 7. С. 55–63. https://docplayer.com/122622291-Metodologicheskie-aspekty-modelirovaniya-v-sfere-vooruzhennogo-protivoborstva.html.
15. Бойко А.А., Иванников К.С., Стрельников С.И. Расчетно-моделирующий комплекс для оценки эффективности боевых действий. Военная Мысль. 2020. № 12. С. 57–64.
16. Вишнякова Л.В., Дегтярев О.В., Слатин А.В. Имитационное операционное моделирование процессов функционирования сложных авиационных систем и комплексов управления. М.: Тр. конф. ИММОД-2011. 2011. Т. 1. С. 30–41. http://immod.gpss.ru/files/2011/3.pdf.
17. Созинов П.А. Актуальные задачи математического моделирования систем воздушно-космической обороны. Вестн. Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2017. № 3. С. 17–26.
18. Богданов О.А., Смирнов А.А., Ковалев Д.В. Имитационное моделирование противоборства в воздушно-космической сфере. Software & Systems. 2016. № 1(113). 2016. С. 160–164.
19. Каменев А.В., Черемшанцев А.А., Макаров В.А. Моделирование процесса стрельбы огневой единицы. Современные проблемы проэктирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем. Ульянов: Ульяновский госуд. техн. ун-т. 2016. № 10. С. 96–104. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27279363.
20. Оркин Б.Д., Оркин С.Д. Имитационное моделирование боевого функционирования палубных истребителей, зенитных ракетных и артиллерийских комплексов корабельных групп при решении задач ПВО. МАИ-Принт. 2009. 699 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://books.google.com.ua/books/about/Имитационное_моделир.html?id=qkx_kgAACAAJ&redir_esc=y.
21. Ильин В.А. Моделирование боевых действий в оперативно-тактических и тактических тренажерах. Программные продукты и системы. 2013. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-boevyh-deystviy-v-operativno-takticheskih-i-takticheskih-trenazherah.
22. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA): 1516–2010 (Framework and Rules); 1516.1–2010 (Federate Interface Specification);

1516.2–2010 (Object Model Template Specification). Available at: https://standards.ieee.org/standard/1516–2010.html.

23. Наказ Головнокомандувача Збройних Сил України «Про затвердження Інструкції з формування оперативно-стратегічних, оперативно-тактичних та загальних вимог до перспективних (нових, модернізованих) систем (комплексів, зразків) озброєння та військової техніки Збройних Сил України» від 28 серпня 2020 року № 127.

**REFERENCES**

1. Demidov, B.A., Lukhanyn, M.I., Velychko, A.F. & Naumenko, M.V. (2011) "Sistemnaia metodologiia planirovaniia razvitiia predproiektnykh issledovanii i vneshnego proiektirovaniia vooruzheniia i voiennoi tekhniki" [System methodology for planning the development of preproject research and external design of weapons and military equipment], Publ. house «Stylos». K. 464 p.
2. Burenok, V.M., Lyapunov, V.M. & Mudrov, V.I. (2005), "Teoriia i praktika planirovaniia i upravleniia razvitiiem vooruzheniia" [Theory and practice of planning and managing the development of weapons], Granitsa. M. 520 p.
3. Zirka, A.A. & Kozlov, V.H. (2022) "Otsinka boiovykh mozhlyvostei litakiv taktychnoi aviatsii rosiiskoi federatsii v viini z Ukrayinoiu" [Assessment of the combat capabilities of tactical aircraft of the russian federation in the war with Ukraine], Weapons and military equipment. No. 1(33). Pp. 110–120. https://doi.org/1034169/2414-0651.
4. Zhivotovsky, R.M., Shinkaruk, O.M., Yakovlev, M.Yu. & Varsegov, A.S. (2022) "Analiz krylatykh raket povitrianogo bazuvannia rf u viini proty Ukraiiny 2022 roku" [Analysis of air-based cruise missiles of the russia in the war against Ukraine in 2022], Weapons and military equipment, No. 1(33). Pp. 83—92. https://doi.org/1034169/2414-0651.
5. Lukianchuk, V.V. & Nikolaiev, I. M. (2021). "Metodologicheskii podkhod k obosnovaniiu oblika zenitnoi raketnoi sistemy na osnove sovremennogo tekhnologicheskogo bazisa" [A methodological approach to substantiating the appearance of an anti-aircraft missile system based on a modern technological basis], Kolektyvna naukova monohrafiia «Suchasnyi stan provedennia naukovykh doslidzhen u IT-tekhnolohiiakh, haluzyakh elektroniky, inzhenerii, nanotekhnolohiiakh ta transportnii sferi». Vyd. 2. https://doi.org/10.36074/csriteenat.ed-2.06.
6. Lanetsky, B.N., Lukianchuk, V.V., Kirillov, I.G. & Nikolaev, I.M. (2014). "Poriadok obosnovaniia operativno-takticheskikh trebovaniy k sisteme zenitnogo raketnogo vooruzheniia i yeie strukturnym komponentam" [The procedure for substantiating operational and tactical requirements for the anti-aircraft missile weapon system and its structural components], Systems of design and military technology. No. 1 (37). Pp. 51–55. Available at: http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2315.
7. Burenok, V.M., Pogrebnyak, R.N. & Skotnikov, A.P. (2010) "Metodologiia obosnovaniia perspektiv razvitiia sredstv vooruzhennoi borby obshchego naznacheniia" [Methodology of substantiation of the prospects for the development of general-purpose means of armed struggle], Mashinostroienie. M. 368 p.
8. Burenok, V.M., Ivlev, A.A. & Korchak, V.Yu. (2009), "Razvitiie voiennykh tekhnologii XXI veka: problemy, planirovaniie, realizatsiia" [Development of military techno-logies of the XXI century: problems, planning, implementation], Publ. house LLC «KUPOL». Tver. 624 p.
9. Arhangelsky, I.I., Afanasiev, P.P. & Bolotov, E.G.: ed. Golubev, I.S. & Svetlov, V.G. (2001). "Proiektirovaniie zenitnykh upravliaiemykh raket" [Design of anti-aircraft guided missiles raket], Publ. House MAI. M. 732 p.
10. Nenartovich, N.E. (2010). "Sovremennyie zenitnyie raketnyie sistemy PVO i nestrategicheskoy PRO" [Modern anti-aircraft missile systems for air defense and non-strategic missile defense], Information and analytical publication «Aerospace Defense».
11. Vishnyakova, L.V., Karp, K.A. & Malyshev, V.V. (2003). "Formirovaniie oblika zenitnogo raketnogo kompleksa" [Shaping the appearance of an anti-aircraft missile system], MAI. M. 83 p. Available at: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_-RU_NLR_bibl_561854.
12. Gorchitsa, G.I., Ishchuk, V.M. & Pishko, V.N. (2019). "Soderzhaniie i napravleniia razvitiia sistem imitatsionnogo modelirovaniia boievykh deistvii voiskovykh formirovanii v polnomasshtabnykh tekhnologiiakh virtualnoi realnosti" [Content and directions of development of systems for simulation of combat operations of military formations in full-scale virtual reality technologies], Izv. rossiiskoi akad. raketnykh i artilleriiskikh nauk. № 1(106). Pp. 60–69. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37098802.
13. Churkin, I.P., Kostrov, S.A. & Beglaryan, S.G. (2018). "Imitatsionnoie modelirovaniie vooruzhennogo protivoborstva v vozdushno-kosmicheskoi sfere" [Simulation of armed confrontation in the aerospace sphere], Military Thought. No. 9. Pp. 41–47.
14. Vasilyev, V.A., Fedyunin, P.A., Vorobyev, V.A. & Vasilyev, A. V. (2018), "Metodologicheskiie aspekty modelirovaniia v sfere vooruzhennogo protivoborstva" [Methodological aspects of modeling in the field of armed confrontation], Vozdushno-kosmicheskiye sily. Teoriia i praktika. No. 7. Pp. 55–63. Available at: https://docplayer.com/122622291-Metodologicheskie-aspekty-modelirovaniya-v-sfere-vooruzhennogo-protivoborstva.html.
15. Boyko, A.A., Ivannikov, K.S. & Strelnikov, S.I. (2020). "Raschetno-modeliruiushchii kompleks dlia otsenki effektivnosti boievykh deistvii" [Computational and modeling complex for evaluating the effectiveness of combat operations], Military Thought. No. 12. Pp. 57–64.
16. Vishniakova, L.V., Degtyarev, O.V. & Slatin, A.V. (2011). "Imitatsionnoie operatsionnoie modelirovaniie protsessov funktsionirovaniia slozhnykh aviatsionnykh sistem i kompleksov upravleniia" [Simulation operational modeling of the processes of functioning of complex aviation systems and control complexes], Tr. Konf. IMMOD-2011. M. Vol. 1. Pp. 30–41. Available at: http://immod.gpss.ru/files/2011/3.pdf.
17. Sozinov, P.A. (2017). "Aktualnyie zadachi matematicheskogo modelirovaniia sistem vozdushno-kosmicheskoi oborony" [Actual problems of mathematical modeling of aerospace defense systems], Vestn. Kontserna VKO «Almaz-Antey». No. 3. Pp. 17–26.

18. Bogdanov, O.A., Smirnov, A.A. & Kovalev, D.V. (2016). "Imitatsionnoie modelirovaniie protivoborstva v vozdushno-kosmicheskoi sfere" [Simulation of confrontation in the aerospace sphere], Software & Systems. No. 1 (113). Pp. 160–164.
19. Kamenev, A.V., Cheremshantsev, A.A. & Makarov, V.A. (2016). "Modelirovaniie protsessa strelby ognevoi yedinitsy" [Modeling the firing process of a firing unit], Sovremennyie problemy proiektirovaniia, proizvodstva i ekspluatatsii radiotekhnicheskikh sistem, Ulianov: Ulianovskii gos. tekhn. un-t. No. 10. Pp. 96–104. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27279363.
20. Orkin, B.D. & Orkin, S.D. (2009). "Imitatsionnoie modelirovaniie boievogo funktsionirovaniia palubnykh istrebitelei, zenitnykh raketnykh i artilleriyskikh kompleksov korabelnykh grupp pri reshenii zadach PVO" [Simulation of the combat functioning of carrier-based fighters, anti-aircraft missile and artillery systems of ship groups in solving air defense problems], MAI-Print, 699 p. Available at: https://books.google.com.ua/books/about/Imitatsionnoye_modelir.html?id=qkx_kgAACAAJ&redir_esc=y.
21. Ilin, V.A. (2013). "Modelirovaniie boievykh deistvii v operativno-takticheskikh i takticheskikh trenazherakh" [Modeling of combat actions in operational-tactical and tactical simulators], Programmnyie produkty i sistemy. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-boevyh-deystviy-v-operativno-takticheskih-i-takticheskih-trenazherah.
22. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA): 1516–2010 (Framework and Rules); 1516.1–2010 (Federate Interface Specification); 1516.2–2010 (Object Model Template Specification). Available at: https://standards.ieee.org/standard/1516–2010.html.
23. The Order of the Ministry of Defense of Ukraine (2020), "Pro zatverdzhennia instruktsii z formuvannia operatyvno-stratehichnykh, operatyvno-taktychnykh ta zahalnykh vymoh do perspektyvnykh (novykh, modernizovanykh) system (kompleksiv, zrazkiv) ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky Zbroynykh Syl Ukrainy. No. 127 vid 28.08.2020" [On the approval of the Instructions for the formation of operational-strategic, operational-tactical and general requirements for promising (new, modernized) systems (complexes, samples) of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine No. 127 dated 28.08.2020].

**Zubarev V., Lanetskii B., Lukianchuk V., Nikolaev I., Zvieriev O.**

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF CREATION AND USE SIMULATION MATHEMATICAL MODELS FOR JUSTIFICATION TACTICAL AND TECHNICAL REQUIREMENTS FOR SYSTEMS (COMPLEXES) ANTI-AIRCRAFT MISSILE WEAPONS

*The scientific and methodological aspects of solving the problem of substantiating the tactical and technical requirements for anti-aircraft missile systems (complexes) at the stage of external design using interactive simulation modeling systems that describe the processes of conflict and informational interaction of the anti-aircraft missile system (complex) with air attack means are formulated.*

*It is substantiated that these modeling systems should be a set of interconnected analytical, simulation and statistical models that describe the processes of functioning of anti-aircraft missile systems (complexes) as part of a tactical group of anti-aircraft missile forces when performing combat tasks with alternative variants of their combat equipment.*

*It is shown that the essence of the task of substantiating tactical and technical requirements is to determine the set of rational values of indicators and characteristics that the system (complex) of anti-aircraft missile weapons must possess in order to perform combat tasks in the predicted conditions of conducting hostilities.*

*The requirements for simulation modeling models, a list of the main events that must be recorded in the process of anti-aircraft combat simulation, a list of measures regarding the information support of combat simulation processes, a list of initial data and the order of their preparation, as well as the sequence of application of models to obtain estimates of anti-aircraft combat effectiveness indicators are action systems (complexes) of anti-aircraft missile weapons.*

***Keywords:*** *tactical and technical requirements, justification, anti-aircraft missile system, performance characteristics, interactive simulation system.*

***Відомості про авторів:***

**Зубарєв Валерій Володимирович**
доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник групи ГНС з наукового керівництва досліджень Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової збройних сил України
м. Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0002-4998-726X
e-mail: doctorzubarev.2016@gmail.com

**Ланецький Борис Миколайович**
доктор технічних наук, професор
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу проблем відновлення ресурсу та ремонту озброєння та військової техніки Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0001-5889-0307
e-mail: Laneckij.B.hnups@gmail.com

**Звєрєв Олексій Олексійович**
кандидат технічних наук, доцент
провідний науковий співробітник відділу розвитку радіотехнічних засобів науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0003-2274-3115
e-mail: gans7995@gmail.com

**Лук'янчук Вадим Володимирович**
доктор технічних наук, професор
начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
https://orcid.org/0000-0001-5695-7723
e-mail: super.vadim1973@ukr.net

**Ніколаєв Іван Михайлович**
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
orcid.org/0000-0002-1250-9918
e-mail: imnikolayev@gmail.com

***Information about the authors:***

**Zubarev Valeriy**
Doctor of Technical Sciences, Professor
Principal Researcher of the group of Principal Researchers of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-4998-726X
e-mail: doctorzubarev.2016@gmail.com

**Lanetskii Boris**
Doctor of Technical Sciences, Professor
Lead Researcher of the Research Department of Resource Recovery and Repair of Weapons and Military Equipment of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0001-5889-0307
e-mail: Laneckij.B.hnups@gmail.com

**Oleksii Zvieriev**
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Lead Researcher of Scientific Research Department of Development of Development of Radio Equipment of Scientific Research Management of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0003-2274-3115
e-mail: gans7995@gmail.com

**Lukianchuk Vadim**
Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of Research Department of the Air Force Research Center of Ivan Kozhedub Kharkiv National University of the Air Force
Kharkiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0001-5695-7723
e-mail: super.vadim1973@ukr.net

**Nikolaev Ivan**
Candidate of Technical Sciences, Senior Research
Leading Research Worker of Scientific Center of Aircrafts Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
orcid.org/0000-0002-1250-9918
e-mail: imnikolayev@gmail.com