

УДК 623.765

Ю. Б. Прібилєв,

кандидат технічних наук, доцент,  
докторант кафедри застосування космічних систем  
та геоінформаційного забезпечення  
Національного університету оборони України  
імені Івана Черняхівського, полковник

## Підхід до побудови системи озброєння протиповітряної оборони директивним методом

У статті розглянуто варіанти вирішення задачі синтезу системи озброєння протиповітряної оборони. Обґрунтовано доцільність директивного підходу до синтезу системи озброєння: типу «згори вниз» на відміну від традиційного підходу «знизу вгору». Як критерій ефективності системи озброєння запропоновано використовувати критерій спільного одиничного запасу ефективності на конфліктну пару.

**Ключові слова:** протиповітряна оборона, система озброєння, критерій ефективності.

Умовою зміцнення обороноздатності України в сучасних військово-політичних умовах ведення гібридної війни з Російською Федерацією є підтримання озброєння і військової техніки (ОВТ) Збройних Сил України (ЗСУ) в готовності до застосування за призначенням. Пріоритетним напрямом розвитку ЗСУ у 2016 р. має стати відновлення й модернізація авіаційної техніки та засобів протиповітряної оборони (ППО). Про це заявив міністр оборони України генерал армії України Степан Полторак під час звіту міністрів силового блоку в грудні 2015 р.

*Постановка проблеми.* На жаль, за кількісними та якісними показниками авіація Повітряних Сил (ПС) ЗСУ поступається найімовірнішому противнику – російській авіації. Зрозуміло, що за цих обставин Україна може покладатися лише на систему ППО як на менш витратний спосіб захисту від засобів повітряного нападу (ЗПН) противника, порівняно з розвитком винищувальної авіації. Але на сьогодні в більшості випадків зенітно-ракетні й радіотехнічні війська мають озброєння ще радянського виробництва, яке потребує відновлення, а існуючі темпи оновлення озброєння ППО відстають від темпів старіння техніки. Найбільш застрілі зенітні ракетні комплекси (ЗРК) у складі ПС ЗСУ прийняті на озброєння більш як 50 років тому. До того ж і «найсучасніший» ЗРК має вік понад 20 років. Значна частина ОВТ ППО потребує капітального ремонту, який не здійснюється через брак фінансування, запасних частин і приладдя, відсутність проектно-конструкторської документації та з інших об'єктивних причин. Становище ускладнюється тим, що майже всі розробники й виробники ЗРК, котрі є на озброєнні ПС ЗСУ, перебувають зараз на території Росії. Тому зміцнення боездатності системи ППО в Україні повинне йти шляхом імпортозаміщення, з максимальним використанням наукових та промислових можливостей вітчизняних підприємств.

В умовах ведення гібридної війни з Російською Федерацією прикриття важливих для безпеки України об'єктів від нападу ЗПН противника є як ніколи актуальним. Необхідність збільшення кількості ЗРК у складі ПС ЗСУ для підвищення щільності угруповання сил і засобів ППО для боротьби із ЗПН цілком зрозуміле – розвиток і зміцнення систем ППО є основною вимогою практично в усіх арміях світу. Але засоби ППО належать до категорії найскладніших у технічному плані високотехнологічних видів ОВТ, розробка «з нуля» та виробництво яких займає тривалий час, котрий вимірюється роками.

Одним з варіантів збільшення кількості ЗРК у короткочасній перспективі є модернізація застарілих систем ППО, навіть тих, які вже зняті з озброєння ЗСУ. Наприклад, розпорядженням Кабінету Міністрів України № 921 від 8 вересня 2015 р. мають бути модернізовані ЗРК С-125, які перебувають на озброєнні з 1961 р. Модернізацію комплексу виконуватиме недержавне науково-виробниче підприємство «Аеротехніка». Після капітального ремонту із заміною більшої частини елементної бази ЗРК

C-125-2Д «Печора-2Д» матиме розрахунковий ресурс експлуатації не менше 15 років, отримає мобільну базу, збільшену дальність і точність ураження ЗПН противника, підвищену завадостійкість. Але є сумніви в економічній ефективності такої глибокої модернізації застарілого ЗРК із заміною 90% елементної бази в умовах відсутності в Україні конструкторської, технологічної, виробничої та іншої документації [1]. Довгострокові плани розвитку засобів ППО в Україні передбачають створення власних систем озброєння (СО) ППО.

Якщо синтез майбутньої вітчизняної СО ППО вести інтуїтивними або евристичними методами, то її вигляд кожного разу визначатиметься досвідом і кваліфікацією розробника. Тобто при одній і тій самій цільовій функції кількість систем дорівнюватиме кількості розробників. Навіть за відсутності строгих кількісних критеріїв оцінювання складності такі СО можна порівнювати між собою за тими чи іншими показниками і знайти серед них кращу за певним критерієм. При цьому неможливо оцінити, яка з отриманих СО буде найпростішою, матиме меншу вартість. Це особливо актуально при монопольному виборі розробника. При цьому виникає запитання: чи існує межа спрощень і якщо так, то яка саме? Наскільки суттєве спрощення СО і який це дає вираш? Що для цього слід зробити? Без розробки відповідних теоретичних положень відповісти на ці запитання та визначити, якою має бути СО, в принципі неможливо.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Питання побудови СО ППО розглядалися у багатьох наукових працях, найвагомішими з яких є [2, 3]. Прогнозування довговічності парку ЗРК та залишкового терміну служби засобів ЗРК під час експлуатації за технічним станом розглядалось у роботах [4, 5]. Удосконаленням методів технічної експлуатації, діагностування й ремонту для підтримання боєготового стану СО ППО займалися автори в роботах [6, 7]. Але в цих роботах були розглянуті лише окремі частини життєвого циклу СО ППО. Методологічні основи синтезу СО ППО повинні враховувати комплексно особливості проектування, експлуатації, діагностування, технічного (метрологічного) обслуговування СО ППО.

Завдання синтезу СО ППО, яке в основі своїй зводиться до синтезу вигляду СО ППО, надзвичайно складне. Ця складність пояснюється комплексним характером майбутньої структури СО ППО, величезною кількістю елементів та інформаційних потоків, як правило, великою тривалістю життєвого циклу й експлуатації системи, багаторівневим характером її функцій і значною кількістю показників її ефективності. Вона за визначенням є багатокритеріальною, причому критерії нерідко суперечать один одному. Прийнятних способів вирішення таких завдань не існує, оскільки теорія оптимізації багатокритеріальних задач як самостійна дисципліна ще не сформована [8].

*Виклад основного матеріалу дослідження.* У найпростіших випадках системи оптимізуються за одним певним критерієм, наприклад, за вартістю, який є функцією обмеженого числа змінних. Інші критерії при цьому

переводяться в ранг обмежуючих умов. Однак вибір такого критерію, як правило, суб'єктивний і, з одного боку, не отримує належного обґрунтування, а з другого – досить суворого його кількісного вираження не завжди можна досягти.

Це означає, що хоча такий шлях вирішення задачі оптимізації й можливий, ступінь довіри «оптимуму» при цьому невелика, а оцінка відхилення його від істинного оптимуму знову перетворюється на задачу великої складності. Іншими словами, так задачу вирішувати можна, але залишається відкритим питання про можливість використання отриманих результатів. Таким чином, рішення задачі синтезу (глобальної оптимізації) системи «в лоб» призводить до практично непереборних труднощів. Разом з тим, навіть інтуїтивно зрозуміло, що будь-яка СО повинна бути піддана якщо не абсолютній, то хоч би «приблизній» оптимізації (квазіоптимізації), центральне місце в якій займає розробка методологічних основ синтезу СО, що і є *метою* статті.

У загальному випадку задача оцінювання ефективності системи зводиться до вибору спеціальних критеріїв, які можуть слугувати мірою ефективності відповідних алгоритмів і пристроїв, а також до визначення шляхів знаходження їхніх значень при вибраних параметрах системи і зовнішніх впливах. При вирішенні питання про вибір критерію ефективності системи зазвичай користуються такими міркуваннями [9]:

- критерій має відображати основне призначення системи;
- критерій повинен бути критичним до параметрів системи;
- критерій має бути наочним і просто визначеним.

Проблемі вибору критерію ефективності систем нині приділяється значна увага. Але велика різноманітність критеріїв ефективності, наявність обмежень на керуючу функцію не дає можливості побудувати єдину й завершену теорію алгоритмів функціонування складних систем [10].

Технічне проектування системи має завершуватися реалізацією «в металі» всіх висунутих до неї вимог. Це означає, що вимоги повинні бути представлені не у вигляді якісних або описових характеристик, як, наприклад, «система має бути гнучкою, надійною, простою в експлуатації, забезпечувати якісне управління» тощо, а у вигляді конкретних кількісних показників (час обробки, передачі, прийняття рішення, достовірність передачі інформації тощо). Кожен такий показник визначає технічні рішення й параметри тих чи інших підсистем і, врешті-решт, усієї системи, що синтезується.

Тут слід зазначити дві важливі обставини: по-перше, за час розробки та підготовки до серійного виробництва вимоги можуть бути модифіковані (як правило, в бік зростання), по-друге, не всі вимоги можуть бути задоволені повністю. Останнє стосується насамперед вимог надійності й вартості. На жаль, конкретні кількісні показники починають «добре працювати» тоді, коли інформаційний і структурний вигляд визначено, тобто

коли принципове рішення про вигляд СО ППО вже прийняте. Однак питання питань системного синтезу саме в тому й полягає, щоб визначити, на підставі чого слід прийняти таке рішення.

Головною вимогою до СО ППО має виступати безумовна реалізація основного цільового призначення. Ніде поки не позначений перехід від системи технічної (СО ППО) до системи просторово-технічної (системи оборони) і навпаки. Первинною (тією, що задає вимоги до СО ППО) повинна бути побудова системи оборони, решта має підпорядковуватися реалізації вимог, котрі висувуються до системи оборони. Ці вимоги, поступово «спускаючись вниз», мають урешті-решт обумовити структуру СО ППО.

Такий директивний підхід можна назвати підходом типу «згори вниз». Упродовж розвитку СО ППО керівним був прямо протилежний підхід: типу «знизу вгору». Суть його полягає в тому, що спочатку створюється СО ППО з певними характеристиками або набір систем (з урахуванням характеристик попередніх систем), а далі, комбінуючи ці СО ППО, вирішується надзвичайно складне завдання «зведення кінців з кінцями» та побудова системи оборони з урахуванням наявних СО ППО.

При вирішенні завдання створення системи ППО за принципом «знизу вгору» будь-яка визначеність практично відсутня. Справді, при цьому фактично ставиться таке завдання: маючи в розпорядженні завжди обмежений набір деяких СО ППО, кожна з яких наділена певними можливостями боротьби з деякими типами ЗПН противника, й організовуючи певним чином взаємодію цих СО ППО, слід побудувати систему оборони. Але якщо рішення цього завдання й існує, то витрати на побудову такої системи оборони будуть не оптимальними.

При вирішенні завдання побудови СО ППО за принципом «згори вниз» можливі два результати:

1) рішення існує та зрозуміло, яким способом його можна досягти;

2) рішення задачі принципово немає, і тоді навіть не слід приступати до розробки СО ППО визначеного типу з позитивними наслідками в сенсі відсутності марних витрат.

Принаймні обидва ці результати мають визначеність (або за виділені кошти вирішується завдання оборони, або завдання оборони не вирішується, але при цьому не витрачаються марно сили й матеріальні засоби). Важливо зауважити, що підхід «згори вниз» принципово не допускає найгіршого результату, коли величезні економічні витрати на створення зразків СО ППО вже зроблені, а потім виникає розуміння, що побудувати систему оборони з потрібними характеристиками все ж неможливо.

Попри різноманітність підходів до вибору критеріїв ефективності фактично всі вони базуються на цільовій функції СО ППО, що синтезується. Якісне формулювання мети СО ППО без указівки на конкретні фактори й кількісний зв'язок між ними має більшу змістовність. Кількісна ж оцінка цільової функції бідніша в змістовно-

му плані, але точніша за рахунок абстрагування та викремлення істотних факторів і знаходження залежності між ними [11].

Кількісна оцінка цілеспрямованості системи може бути проведена в такий спосіб. Ступінь цілеспрямованості системи визначається за ступенем відповідності цілей підсистем меті всієї системи (незалежно від того, якою ціною це досягається). У найпростіших випадках цільові функції підсистем можуть бути представлені у вигляді векторних функцій  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_k$  на множині  $M$  кінцевого числа  $m$  змінних факторів, їхніх похідних і часу  $t$ , тобто:

$$\vec{F}_1 = f_1(\dots, x_p, \dots, x'_p, \dots, x''_p, \dots, t) \rightarrow \max(\min);$$

$$\vec{F}_k = f_k(\dots, x_p, \dots, x'_p, \dots, x''_p, \dots, t) \rightarrow \max(\min),$$

де  $j = \overline{1, m}$ .

Цільова функція системи:

$$\vec{F} = F(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_k, t).$$

З огляду на велику кількість параметрів і складність отримання явної залежності кожної із цільових функцій  $F_i (i = \overline{1, k})$  від цих чинників навряд чи можна говорити про скільки-небудь істотну користь такого критерію. Для порівняльного техніко-економічного аналізу конкуруючих СО на етапі їх розробки можна керуватися одним з двох принципів:

- мінімізацією витрат на виконання операції при фіксованій цільовій функції (ефективності) системи;
- максимізацією цільової функції (ефективності) в рамках фіксованих асигнувань на виконання операції – оптимізацією вигляду системи.

При вирішенні задачі оптимізації вигляду системи набула поширення тріада критеріїв «ефективність – вартість – час» ( $W - C - \tau$ ). Якщо як головний прийняти критерій ефективності  $W$ , то  $W \rightarrow \max$  при  $C \leq \bar{C}$ ,  $\tau \leq \bar{\tau}$ ; якщо вартості  $C$ , то  $C \rightarrow \min$  при  $W \geq \bar{W}$ ,  $\tau \leq \bar{\tau}$ ; якщо часу  $\tau$ , то  $\tau \rightarrow \min$  при  $W \geq \bar{W}$ ,  $C \leq \bar{C}$ .

Поняття «вартості операції» аналітично наведене у вигляді [8]:

$$\bar{C}_{оп} = \int_{\tau_0}^{\tau_k} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{1ij}(\tau) n_{ij}(\tau) d\tau,$$

де  $C_{1ij}(\tau)$  – витрати на одиницю засобів  $i$ -го виду, які беруть участь у  $j$ -й операції в одиницю часу,  $n_{ij}$  – кількість засобів  $i$ -го виду, необхідних в одиницю часу для виконання  $j$ -ї операції,  $i$  – індекс системи, яка бере участь в операції.

На жаль, аналітичний вираз, представлений фізично існуючими комплектуючими виробами, не робить поняття «вартості операції» менш розмитим, оскільки обчислення  $C_{1ij}$ ,  $n_{ij}$  при повному переборі засобів та операцій практично неможливе. Тому реальні спроби математично строго пов'язати між собою  $W$ ,  $C$  і  $\tau$  для сучасних (а тим більше перспективних) СО ППО приречені на невдачу. До того ж слід зауважити, що конкуруючі СО ППО

розробляються дуже рідко. Більше того, такі підходи до вибору критерію ефективності орієнтовані на оцінювання конкретної системи з її реальними вузлами, елементами тощо, але на етапі синтезу вигляду про конкретну систему ще не може бути й мови. Тому особливої актуальності набуває такий критерій, який давав би змогу знайти краще і близьке до нього рішення на ранній стадії синтезу СО ППО.

Загальноприйнятих критеріїв оцінювання ефективності складних систем поки немає, як і немає методики їх розробки [11]. Основна причина цього полягає в прагненні отримати абсолютний кількісний критерій (функціонал) прямими спробами вирішення цього завдання – «у лоб». Друга причина полягає в односторонньому трактуванні самого критерію, який представляється як внутрішня властивість системи. При реалізації принципу «знизу вгору» ця внутрішня властивість одночасно є й зовнішньою, оскільки вигляд системи нижчого рангу визначає також вигляд системи верхнього (відносно неї) рангу. При реалізації цього принципу СО ППО як об'єкт синтезу не залежатиме від системи оборони. Навпаки, вона сама висуває вимоги та зумовлює структуру системи оборони.

При реалізації принципу «згори вниз» на верхньому рівні ієрархії – рівні «ідей» – критерій ефективності слід розглядати і як зовнішню властивість СО, яка характеризує ступінь відповідності даного варіанта технічного рішення СО завданням системи оборони в цілому. Тоді як критерій ефективності можна розглядати нормоване значення ефективності СО  $E_C(t)$ .

Критерієм ефективності як зовнішньої властивості можна розглядати можливості противника з протидії СО, тобто нормоване значення ефективності противника. Очевидно, що в парі, яка конфліктує, «СО – противник»  $E_C(t)$  буде максимальною та дорівнюватиме одиниці лише при  $E_{II}(t) = 0$  і, навпаки,  $E_{II}(t) = 1$  при  $E_C(t) = 0$ . Рівні можливості сторін з очевидністю тягнуть за собою  $E_C(t) = E_{II}(t) = 0,5$ . Це дає змогу сформулювати закон збереження ефективності пари, яка конфліктує, у вигляді: пара, яка конфліктує, завжди володіє одиничним запасом ефективності (на пару), тобто:  $E_C(t) + E_{II}(t) = 1$ .

Втрата ефективності однією стороною через які завгодно причини збільшує ефективність противної сторони на ту саму величину. Наприклад, перебування СО в несправному стані, погано організована взаємодія родів військ тощо знижують значення  $E_C(t)$ , що еквівалентно підвищенню  $E_{II}(t)$ , а аварійність при польотах ЗПН противника еквівалентна підвищенню  $E_C(t)$ . Іншими словами, СО (противник) виконує своє завдання настільки ефективно, настільки їй (йому) дає можливість це зробити противник (СО).

Нехай до початку конфліктної взаємодії ( $t = 0$ )  $E_C(t) = d$  та  $E_{II}(t) = 1 - d$ . Якщо  $d > 1 - d$ , тобто СО має перевагу перед противником, то можна очікувати, що із часом  $E_C(t)$  зростатиме. При цьому:  $E_C(t) = d + \vartheta(t)t$ , де

$\vartheta(t)$  – позитивний коефіцієнт, який змінюється в часі та характеризує швидкість зростання ефективності. У найпростішому випадку можна припустити, що швидкість зростання ефективності змінюється лінійно, тобто  $\vartheta(t) = c_1 t$ . Тоді  $E_C(t) = d + c_1 t^2$ .

З умови  $E_C(t) = 1$  знаходимо, що через певний час  $t_{PC} = \sqrt{\frac{1-d}{c_1}}$  СО здобуде «повну перемогу» над противником. Умовою перемоги може слугувати досягнення

$E_C(t)$  деякого значення  $D$ , ( $D < 1$ ). Тоді  $t_{PC}^* = \sqrt{\frac{D-d}{c_1}}$ .

Зміна  $E_C(t)$  і  $E_{II}(t)$  при цьому показана кривими 1 і 4 на *рисунку 1*. Якщо за тих самих початкових умов противнику вдалося знищити систему оборони і здобути перевагу (криві 2 і 5), то  $E_C(t) = d - c_2 t^2$  та з умови  $E_{II}(t) = 1$

отримаємо, що через певний час  $t_{PII} = \sqrt{\frac{d}{c_2}}$  «повну перемогу» здобуде противник. Якщо умовою перемоги буде досягнення  $E_{II}(t)$  деякого значення  $D$ , то  $t_{PII}^* = \sqrt{\frac{D+d-1}{c_2}}$ .

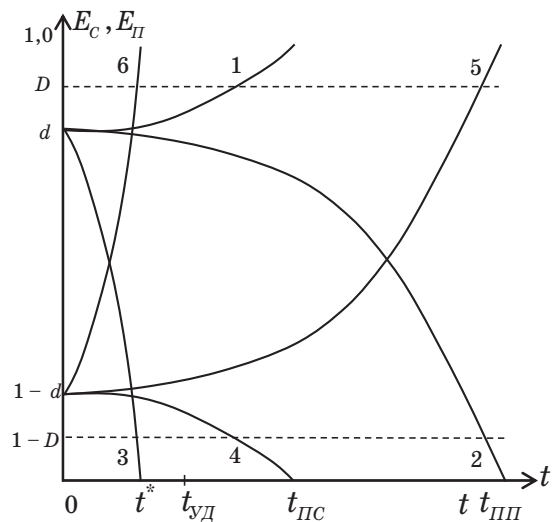


Рис. 1. Залежності  $E_C$ ,  $E_{II}$  від часу

Прискорення в набірні переваги системи оборони ( $+c_1$ ) або противника ( $-c_2$ ) так само є функцією часу, хоча для тлумачення фізичної сутності процесу це не настільки важливо.

Якщо одній зі сторін одразу ж після початку конфлікту вдається забезпечити необхідне прискорення зростання ефективності, наприклад, зосередивши в першому ударі всі ЗПН на об'єктах ППО, то фактично можна здобути перевагу ще до завершення першого удару, тобто за час  $t^* < t_{уд}$  (криві 3 і 6 *рисунка 1*).

Відновлювальні властивості системи оборони при цьому можна не враховувати, оскільки час удару завжди

буде дуже малий порівняно із часом відновлення не лише для системи оборони загалом, а й для конкретного зразка СО ППО. Це твердження ґрунтується на тому, що навіть у разі природного виникнення одиничних несправностей у сучасній СО ППО час відновлення вимірюється добами, а інколи й тижнями. При появі ж групової несправності (масових ушкоджень від впливу противника) СО ППО може виявитися невідновлюваною на всьому проміжку бойових дій.

Таке тлумачення критерію ефективності СО ППО на рівні «ідей» дає змогу визначити розумну стратегію поведінки кожної зі сторін пари, яка конфліктує. Зокрема противник повинен розглядати як об'єкт нападу в першому ударі виключно об'єкти самої СО ППО, тому СО ППО треба проектувати неодмінно з урахуванням цієї стратегії противника [12]. Виходячи із цього, СО ППО має бути стійкою до впливу противника при будь-яких стратегіях застосування його ЗПН і забезпечувати пропускну здатність, яка не поступається або свідомо перевершує доступні противнику щільності нальоту. Нехтування цією найголовнішою вимогою при синтезі СО ППО може в бойових умовах перетворити найскладніші сучасні СО на «системи одного бою».

Можливе рішення цієї вимоги полягає в тому, що СО ППО вже на етапі синтезу її вигляду повинна бути «застрахована» від катастрофічного падіння ефективності (до нуля включно) в результаті впливу противника. Крім того, необхідно володіти максимально широкою номенклатурою засобів впливу на противника (наприклад, ЗРК, зенітні артилерійські системи, лазерні СО ППО тощо), керованих від єдиної стійкої централізованої системи управління.

Безумовно, коректніше було б розглянути також інші варіанти конфліктних ситуацій, а не тільки прямо протилежні. Однак це призвело б до значного ускладнення моделі СО ППО та неможливості знаходження найкоротшого шляху отримання головного результату, який полягає в тому, що треба вживати максимум заходів для збереження ефективності СО ППО в умовах протидії противника.

### Висновки

Таким, чином, запропоновано новий підхід до синтезу СО ППО: директивний типу «згори вниз» на відміну від традиційного підходу «знизу вгору». Використання такого підходу не допускає найгіршого результату, коли великі економічні витрати зроблені, але СО ППО з потрібними характеристиками не створена. Це випливає з того, що при реалізації підходу «згори вниз» принципи організації самої ППО дають можливість висувати вимоги до її СО ППО.

Як критерій ефективності на верхньому рівні синтезу вигляду СО – рівні «ідей» – запропоновано використовувати критерій спільного одиничного запасу ефективності

на конфліктну пару «СО – противник». Реалізація цього критерію на практиці вимагає максимального розширення номенклатур засобів активного впливу на противника. При цьому кожна СО ППО повинна впливати на противника у своїй просторовій зоні. І система оборони, і система її озброєння повинні бути побудовані за принципом зональної інтеграції різних систем активного впливу на противника.

### Перелік літератури

1. Бурковский С. И. Сравнительная оценка эффективности зарубежных вариантов модернизации ЗРК С-125М1 «Печора-М1» при решении задач ПВО важных государственных объектов Украины / С. И. Бурковский, П. Ю. Седышев // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 1 (21). – С. 36–44.
2. Архангельский И. И. Проектирование зенитных управляемых ракет / И. И. Архангельский, П. П. Афанасьев, И. С. Голубев, В. Г. Светлов и др. – М. : МАИ, 2001. – 732 с.
3. Неупокоев Ф. К. Стрельба зенитными ракетами / Ф. К. Неупокоев – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Воениздат, 1991. – 343 с.
4. Крижний А. В. Прогнозування довговічності парку зенітних ракетних комплексів (систем) під час експлуатації за технічним станом / А. В. Крижний, П. В. Опенько // Наука і оборона. – 2012. – № 1. – С. 50–55.
5. Опенько П. В. Методика прогнозування залишкового терміну служби (ресурсу) засобів комплексів зенітного ракетного озброєння при експлуатації за технічним станом / П. В. Опенько, В. В. Кобзев // Труды університету: зб. наук. праць. – Вип. 1 (115). – К. : Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, 2013. – С. 113–127.
6. Гриб Д. А. Удосконалення методів технічної експлуатації і ремонту як основа підтримання боеготового стану зенітного ракетного озброєння в сучасних умовах / Д. А. Гриб, Б. М. Ланецький, В. В. Лук'янчук // Наука і оборона. – 2012. – № 3. – С. 55–63.
7. Пермяков О. Ю. Моделювання системи діагностування та ремонту зенітних ракетних комплексів за допомогою замкнутої системи масового обслуговування / О. Ю. Пермяков, Ю. Б. Прибілев, П. В. Опенько, І. В. Новікова // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони: науково-практичний журнал. – Вип. 3 (24). – К. : НУОУ ім. І. Черняховського, 2015. – С. 88–93.
8. Саркисян С. А. Большие технические системы. Анализ и прогноз развития / С. А. Саркисян, В. М. Ахундов. – М. : Наука, 1978. – 158 с.
9. Гайдес М. А. Общая теория систем (Системы и системный анализ) / М. А. Гайдес. – М. : Глобус-Пресс, 2005. – 201 с.
10. Бертуланфи Л. фон. Общая теория систем – критический обзор // Исследования по общей теории систем: Сб. переводов / общ. ред. В. Н. Садовского и Э. Г. Юдина. – М. : Прогресс, 1969. – С. 23–82.
11. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, И. Такахара / пер. с англ. – М. : Мир, 1978. – 312 с.
12. Онищенко С. І. До питання розподілення сил та визначення послідовності завдання ракетно-авіаційних ударів у повітряній операції / С. І. Онищенко, О. М. Загорка, В. В. Коваль // Наука і оборона. – 2012. – № 1. – С. 39–44.