

УДК: 358.4:355.354

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163082

Розробка методичних положень щодо обґрунтування бойового складу сил для дій у повітряному просторі

О. М. Загорка, П. В. Щипанський, А. К. Павліковський, О. Г. Оксіюк,
В. І. Вялкова

Вирішальним фактором успіху під час ведення сучасних бойових дій є боротьба за перевагу у повітрі. Основним завданням сторони, що обороняється, є недопущення завоювання противником переваги у повітрі. Для цього застосовуються різноманітні засоби ураження. За критерій недопущення завоювання противником переваги у повітрі прийнято задане співвідношення сил авіації сторін, яке визначається за їх бойовими потенціалами. Для обґрунтування потрібного бойового складу сил для дій у повітряному просторі у статті розроблені відповідні методичні положення. При цьому сукупність різноманітних засобів, які діють в інтересах боротьби за перевагу у повітрі, розглядається як система ураження військ і об'єктів противника.

В рамках дослідження було вирішено чотири задачі.

При вирішенні першої задачі здійснена декомпозиція системи на компоненти, науковим результатом якої є отримання морфологічного зрізу системи. Це дозволило визначити взаємовплив дій компонентів системи на завдання втрат бойових потенціалом протидіючих сторін.

Друга задача дослідження присвячена розробленню методичного підходу до обґрунтування бойового складу сил для боротьби у повітрі, який ґрунтується на розрахунках збережених бойових потенціалів компонентів протидіючих сторін. Отримані структурні схеми методики обґрунтування потрібного бойового складу сил для недопущення завоювання або підсилення переваги противника у повітрі. Потрібний склад сил визначається за критерієм співвідношення сил авіації сторін на кінець бойових дій з використанням методу ітерацій.

Результатом вирішення третьої задачі є отримання математичних виразів розрахунку збережених бойових потенціалів компонентів сторін на кінець бойових дій, які є основою розробленої методики.

При вирішенні четвертої задачі розглянуто порядок застосування розробленої методики на прикладі визначення складу ударної авіації для недопущення завоювання противником переваги у повітрі.

Розроблені методичні положення доцільно використати при створенні відповідного спеціального математичного програмного забезпечення для використання органами військового управління

Ключові слова: бойовий склад, співвідношення сил, системний аналіз, перевага у повітрі

1. Вступ

У сучасних воєнних конфліктах боротьба у повітряному просторі стає вирішальним фактором досягнення успіху під час ведення бойових дій. З досвіду минулого сторона, яка розпочинала збройний конфлікт, як правило, мала перевагу в авіації і намагалася у найкоротший термін підсилити таку перевагу, тим самим створити сприятливі умови для дій сухопутних військ. За таких умов основним завданням сторони, що зазнає нападу, є недопущення підсилення переваги противника у повітрі.

Для виконання цього завдання можуть застосовуватися: з'єднання і частини авіації, зенітних ракетних військ (ЗРВ), частини і підрозділи військ протиповітряної оборони (ППО), ракетних військ і артилерії (РВ і А), армійської авіації (АА) сухопутних військ (СВ), підрозділи ППО військово-морських сил (ВМС), частини та підрозділи радіоелектронної боротьби (РЕБ).

Під час ведення бойових дій протиборчі сторони обмінюватимуться ракетно-авіаційними ударами (РАУ) по військах і об'єктах, у яких можуть застосовуватися ударна авіація, крилаті ракети, балістичні ракети оперативнотактичного і тактичного призначення. Відбиття РАУ здійснюється ЗРВ, винищувальною авіацією (ВА), військами ППО СВ, силами ППО ВМС.

Виконання завдання щодо недопущення підсилення противником переваги у повітряному просторі оцінюється за співвідношенням сил авіації сторін на визначений час бойових дій. Для розрахунку співвідношення сил протидіючих сторін звичайно використовують бойові потенціали зразків озброєння, величини яких пропорційні середньому збитку, що можуть завдати ці зразки озброєння протидіючим військам (силам) за визначений час бойових дій (операцію, бій) [1]. Для обчислення даних величин здійснюється порівняння зразків озброєння щодо їх внеску в кінцевий результат бойових дій, що дозволяє отримати вагові коефіцієнти, які вважаються бойовими потенціалами зразків озброєння [2]. Звичайно отримані вагові коефіцієнти нормуються до еталонного зразка озброєння, бойовий потенціал якого приймається за одиницю. При розрахунках співвідношення сил сторін для свого озброєння і противника використовується один еталонний зразок озброєння.

Для визначення співвідношення сил протидіючих сторін за результатами бойових дій використовуються втрати їх бойових потенціалів.

Критерієм недопущення підсилення противником переваги у повітрі є задане співвідношення сил авіації сторін, яке досягається застосування всіх сил, що приймають участь у боротьбі з повітряним противником.

Для забезпечення переваги у повітрі протидіючі сторони будуть прагнути до узгодженого застосування всіх сил для ураження засобів як у повітрі, так і на землі. При цьому будуть застосовуватися більш ефективні засоби ураження і способи бойових дій. Урахування цих факторів є необхідною умовою обґрунтування бойового складу сил для недопущення завоювання або підсилення переваги противника у повітрі.

Результати збройної боротьби за перевагу у повітрі багато у чому визначають успіх операції (бойових дій) у цілому.

Різномірність сил, які діють в інтересах боротьби у повітряному просторі, обумовлює необхідність застосування для обґрунтування потрібного бойового складу сил для недопущення завоювання або підсилення противником переваги у повітрі методичних положень, що ураховують комплексність їх застосування.

Визначення потрібного складу сил для дій у повітряному просторі здійснюється органами військового управління під час підготовки операції (бою).

Актуальність дослідження полягає в необхідності отримання органами військового управління обґрунтованих кількісних оцінок складу сил для боротьби у повітрі в умовах сучасної обстановки та обмежень в озброєнні.

2. Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

У праці [3] наведена методика прогнозування втрат військ і об'єктів від авіаційних ударів противника, в якій ефективність дій сил ППО ураховується заданою імовірністю ураження цілі. Питання щодо оцінювання втрат авіації противника від дій ЗРВ, ВА ПС, військ ППО СВ не вирішувались, що обумовлено розробкою спрощеної методики. У роботі [4] показано, що прогнозоване співвідношення сил і засобів протидіючих сторін у ході повітряної операції можна визначати з використанням експонентної залежності від його початкового значення. При цьому загальні втрати угруповання сил на кінець бойових дій визначаються за співвідношенням початкових загальних бойових потенціалів сторін. Використання такого підходу принципово неможливо при визначенні втрат окремих видів сил, які приймають участь у боротьбі за перевагу у повітрі. Це обумовлено відсутністю можливості отримання відповідних коефіцієнтів, які використовуються в експонентних залежностях.

Дослідженню розподілення сил та визначенню послідовності завдання РАУ по військах і об'єктах противника присвячена праця [5], у якій розраховується співвідношення сил авіації протидіючих сторін. Показано, що зменшення цього співвідношення може досягатися раціональною послідовністю завдання РАУ. Однак в роботі не визначається потрібний склад сил для недопущення переваги авіації противника під час ведення бойових дій, відсутні залежності для визначення втрат сил протидіючих сторін.

Методичні аспекти обґрунтування бойового складу збройних сил розглянути у праці [6]. Необхідний бойовий склад військ на початок бойових дій визначається потрібною величиною відверненого збитку (збереження бойового потенціалу) протягом певного періоду ведення операції. Питання щодо визначення складу сил для дій у повітряному просторі не розглядалось.

В роботі [7] запропоновано визначати кількісно-якісне співвідношення сил авіаційних угруповань у боротьбі за перевагу у повітрі з урахуванням їх бойових потенціалів і коефіцієнтів бойової готовності засобів. Однак при цьому не ураховуються дії наземних сил ППО. У методиці обґрунтування потрібного складу сил оперативно-тактичної авіації на небезпечному стратегічному напрямку, що вирішує завдання початкового періоду війни [8], також не ураховується дії наземних сил ППО противника.

В роботі [9] задача визначення бойового складу тактичної авіації і ЗРВ розв'язується як зворотна задача кваліметрії. Визначається такий бойовий склад

тактичної авіації і ЗРВ, при якому бойові завдання будуть виконанні з результатами не менш, ніж заданих при мінімальних витратах ресурсів. Однак завдання щодо недопущення переваги противника у повітрі не розглядається.

Обґрунтування кількісно-якісного складу зенітного ракетного озброєння угруповання ЗРВ у роботі [10] здійснюється без урахування під час відбиття РАУ противника дій ВА та військ ППО СВ, що не дає можливості отримання коректної оцінки.

Питанню обґрунтування бойового та чисельного складу авіаційного угруповання для проведення ефективних повітряних операцій присвячено чимало робіт вітчизняних та зарубіжних авторів. В роботі [11] наводиться еволюція поглядів на застосування авіації для ураження об'єктів противника. Доводиться, що однією із доктрин застосування авіації є "механістичний погляд на війну", який передбачає ретельне математичне обґрунтування сил та засобів, однак сама методика не надана. В статті [12] детально розглянуте питання розвитку розвідки, як елементу бойового забезпечення дій авіації, проте питання її проведення та обґрунтування потрібного складу не наведено. В статті [13] доводиться, що знищення або подавлення протиповітряної оборони противника вже давно є центральним елементом будь-якої операції (бою), оскільки це забезпечує повітряну перевагу. Показано, що в сучасних операціях від 15 % до 30 % загальних вильотів виконуються задачі з подавлення ППО, однак жодних математичних залежностей з вибору першочергових об'єктів та розрахунків потрібних сил та засобів для дій у повітряному просторі не приводиться.

В роботі [14] повітряна операція та її цілі розглядаються як взаємодія динамічних систем. Доводиться, що первинний розподіл ресурсів не завжди приводить до досягнення цілі. Пропонується проводити перерозподіл засобів в ході ведення операції з використанням методів теорії ігор. У той же час завдання щодо завоювання переваги у повітрі не розглядається.

В статті [15] наголошується про доцільність та актуальність дослідження теорії планування військових операцій з позицій теорії складних систем. Доводиться, що методологія даної галузі наук здатна оцінити кінцевий результат за динамікою змін в процесі ведення військової операції. Запропоновано використання мультиагентних моделей для розкриття уявлення про динаміку поля бою. Однак бойові дії в інтересах боротьби у повітрі не досліджувались.

Цікавою з позиції теми даного дослідження є стаття [16], в якій запропоновано отримання оцінки потенціалів збройної боротьби з позицій оцінювання невизначеності та планування спроможностей, що також свідчить про актуальність досліджень обґрунтування бойового складу сил для дій в інтересах боротьби за перевагу у повітрі.

Виходячи із сучасного стану авіації Повітряних Сил Збройних Сил України, цікавим є дослідження польських вчених [17], які обґрунтовують склад та структуру інформаційно-технологічної системи підтримки управління військовою авіацією, застосовуючи статистичні методи та методи експертного опитування. Питання щодо застосування інших сил у боротьбі за перевагу у повітрі у статті не розглянуто.

З аналізу наведених праць випливає, що невирішеними залишились питання, які пов'язані з визначенням втрат протидіючих сторін під час збройної боротьби за перевагу у повітрі з урахуванням комплексного характеру застосування різнорідних сил. У наведених працях також не розглядалось питання щодо визначення бойового складу сил для недопущення завоювання або підсилення переваги противника у повітрі. Це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого розробці методичних положень оцінювання втрат сил, які застосовуються у боротьбі за перевагу у повітрі, та обґрунтування їх бойового складу.

3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є розробка методики обґрунтування потрібного бойового складу сил, які приймають участь у боротьбі з повітряним противником, для недопущення завоювання або підсилення ним переваги у повітрі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- здійснити декомпозицію системи ураження військ і об'єктів за морфологічним зрізом для урахування ураження різнорідних сил при визначенні співвідношення сил авіації протидіючих сторін;
- розробити методичний підхід до обґрунтування потрібного бойового складу сил для боротьби у повітрі;
- одержати математичні вирази розрахунку збережених бойових потенціалів компонентів протидіючих сторін на етапах бойових дій для визначення співвідношення сил авіації;
- розглянути порядок визначення потрібного бойового складу сил для дій у повітряному просторі на прикладі визначення складу ударної авіації.

4. Методи та методика дослідження щодо обґрунтування складу сил для дій у повітряному просторі

4.1. Декомпозиція системи ураження військ і об'єктів за морфологічним зрізом для урахування дій різнорідних сил

Застосування різнорідних сил, які діють в інтересах недопущення завоювання противником або посилення переваги у повітрі, взаємопов'язане, здійснюється узгоджено за єдиним замислом. Сукупність таких сил відповідає відомим властивостям, характерним для систем, а саме: цілісності і членимості, зв'язаності, організації, наявності системної якості, яка притаманна цієї сукупності сил у цілому [18]. Це дає можливість розглядати сукупність діючих сил як складну організаційно-технічну систему військового призначення, при дослідженні якої доцільно застосувати принципи системного підходу.

Відповідно до системного підходу вирішення проблеми, яка досліджується, включає: її опис, установлення критеріїв, декомпозицію проблеми, композицію складових частин, знаходження рішення [19].

Ступінь декомпозиції проблеми на складові частини визначається метою дослідження, необхідністю урахування факторів, що впливають на функціонування системи, а також можливістю синтезу системи під час вирішення проблеми. Застосування системного аналізу [20] також передбачає розчленування

(декомпозицію) системи на складові елементи (підсистеми) з метою вивчення її структури та властивостей.

Декомпозиція системи на складові здійснюється за “зрізами” (стратами). Для обґрунтування бойового складу сил, які діють в інтересах недопущення завоювання противником або посилення переваги у повітрі, декомпозицію системи доцільно здійснювати за морфологічним зрізом, який відповідає членуванню системи за функціональною ознакою, тобто відповідно до завдань, що виконуються підсистемами [19]. Завданнями, що повинні виконуватися підсистемами в інтересах недопущення завоювання противником або підсилення переваги у повітрі, є ураження його військ і об’єктів.

Морфологічний зріз системи ураження військ і об’єктів противника наведено на рис. 1.

Система, що досліджується, містить M компонентів (типів засобів ураження), $m=\overline{1, M}$ підсистеми ураження засобів противника у місцях базування і на позиціях та L компонентів (типів засобів ураження), $l=\overline{1, L}$ підсистеми ураження засобів противника у повітрі, які показані на рис. 1. Передбачається, що протидіюча система ураження наших військ і об’єктів може бути представлена такою ж структурою і містить $R(r=\overline{1, R})$ та $S(s=\overline{1, S})$ відповідних компонентів.

Застосування системного підходу дозволяє шляхом оцінювання впливу кожного компонента на співвідношення сил авіації сторін визначити потрібний бойовий склад сил, які приймають участь у боротьбі з повітряним противником, для виконання вимог до заданого критерію.

Відповідно до характеру збройної боротьби при обґрунтуванні бойового складу сил для дій у повітряному просторі доцільно також розглядати часовий зріз системи ураження військ і об’єктів противника, який являє собою прогнозовану послідовність обміну за часом РАУ протидіючими сторонами.

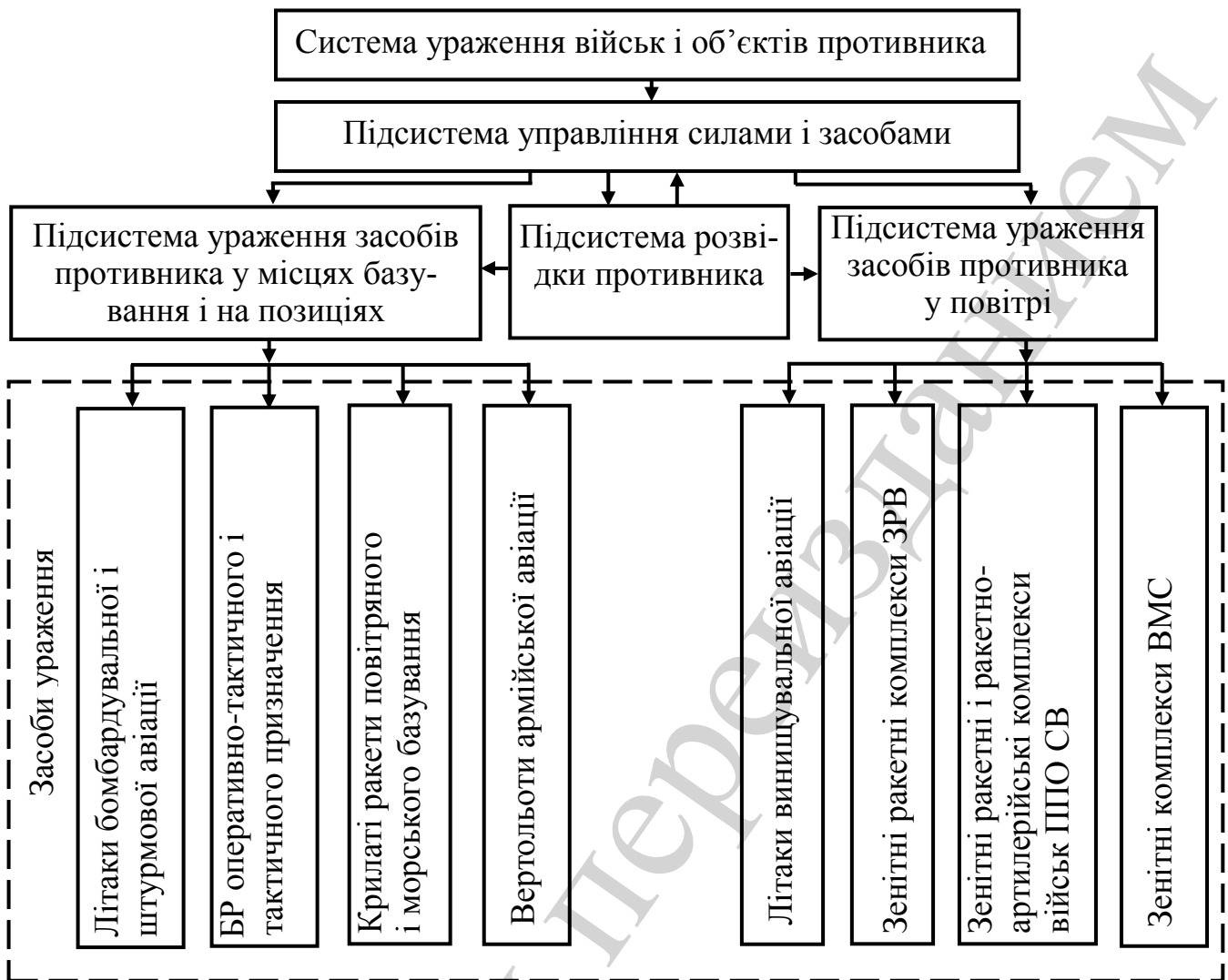


Рис. 1. Морфологічний зріз системи ураження військ і об'єктів противника

4. 2. Методичний підхід до обґрунтування потрібного бойового складу сил для боротьби у повітрі

При обґрунтуванні бойового складу сил бойові дії розбиваються на n етапів ($i = \overline{1, n}$) таким чином, що на кожному етапі може РАУ завдатися тільки однією з протидіючих сторін [4]. Прогнозування етапів бойових дій (послідовності обміну РАУ протидіючими сторонами) здійснюється експертами (фахівцями) на підставі результатів оцінки обстановки. Послідовність обміну РАУ протидіючими сторонами відображається на схемі, як наведено на рис. 2.

При проведенні дослідження оцінюється змінювання співвідношення сил авіації і загального співвідношення сил сторін за етапами бойових дій. Для цього визначаються втрати бойових потенціалів компонентів протидіючих сил сторін в ході завдання з відбиття РАУ. При плануванні РАУ значна частина сил (ударна авіація, армійська авіація, балістичні і крилаті ракети) протидіючих сторін (особливо з перших РАУ) виділяється на знищення (придушення) засобів ППО, літаків на аеродромах, вертольотів, БР на стартових позиціях, що без-

посередньо впливає на бойовий потенціал сил, які приймають участь у бойових діях. Бойовий потенціал ударної авіації, винищувальної авіації, вертольотів знижується через застосування засобів ППО для відбиття ударів, а БР і КР □ за рахунок їх використання за призначенням (витрат).

Номер етапу, i	1		2		3		...		$n-2$		$n-1$		n
РАУ сил противника							...						
РАУ наших військ							...						
Тривалість РАУ	t_1		t_2		t_2		...		t_{n-2}		t_{n-1}		t_n
Тривалість бойових дій	T												

Рис. 2. Відображення послідовності обміну РАУ протидіючими сторонами

Для завдання РАУ обираються об'єкти, які мають найбільший бойовий потенціал. Розподілення сил для ураження об'єктів здійснюється з використанням ітераційних процедур [3, 5].

За результатами розрахунків визначаються збережені бойові потенціали компонентів сил противника і своїх військ на кожному етапі, що дозволяє оцінити співвідношення сил авіації C_n^{ab} і загальне співвідношення сил C_n протидіючих сторін на кінець бойових дій протидіючих сторін тривалістю T . Якщо C_n^{ab} менше або дорівнює заданого значення співвідношення $C_{зад}^{ab}$, що відповідає недопущенню завоювання противником або підсилення переваги у повітрі, вважається, що мета бойових дій нашими силами досягнута. Інакше потребується залучення додаткових сил для боротьби з повітряним противником і повторення розрахунків, тобто використовується метод послідовних наближень (ітерацій), який дозволяє визначити потрібний бойовий склад сил для недопущення завоювання противником або підсилення переваги у повітрі.

Досягненню мети щодо недопущення завоювання противником або підсилення переваги у повітрі сприяє застосування раціональної послідовності завдання РАУ по його військах і об'єктах [4]. Для дослідження цього фактору необхідно змінювати послідовність завдання РАУ по військах і об'єктах противника і оцінювати за час бойових дій (T) співвідношення збережених бойових потенціалів сил авіації і збережених бойових потенціалів усіх сил протидіючих сторін.

Відповідно до запропонованого методичного підходу розроблено методику обґрунтування потрібного бойового складу сил для недопущення завоювання або підсилення переваги противника у повітрі, структурну схему якої наведено на рис. 3.

Основу методики складають математичні вирази для розрахунку збережених бойових потенціалів компонентів систем ураження військ і об'єктів протидіючих сторін.

4. 3. Математичні вирази розрахунку збережених бойових потенціалів компонентів протидіючих сторін

Початкові бойові потенціали r -го і s -го компонентів сил противника та m -го і l -го компонентів наших сил визначаються за формулами:

$$\Pi_{ro} = n_{ro} \cdot B_r, r = \overline{1, R};$$

$$\Pi_{so} = n_{so} \cdot B_s, s = \overline{1, S};$$

$$\Pi_{mo} = n_{mo} \cdot B_m, m = \overline{1, M};$$

$$\Pi_{lo} = n_{lo} \cdot B_l, l = \overline{1, L}, \quad (1)$$

де n_{ro} , n_{so} , n_{mo} , n_{lo} – початкова кількість засобів ураження r -го і s -го компонентів сил противника та m -го і l -го компонентів наших сил відповідно; B_r , B_s , B_m , B_l – середні бойові потенціали за типами засобів ураження відповідних компонентів.

При відсутності в угрупованні сил визначеного компонента його бойовий потенціал дорівнює нулю.

Загальні початкові бойові потенціали сил противника Π_o^n і наших сил Π_o^h визначаються таким чином:

$$\Pi_o^n = \sum_r \Pi_{ro} + \sum_s \Pi_{so}; r = \overline{1, R}; s = \overline{1, S};$$

$$\Pi_o^h = \sum_m \Pi_{mo} + \sum_l \Pi_{lo}; m = \overline{1, M}; l = \overline{1, L}. \quad (2)$$

Початкове співвідношення бойових потенціалів протидіючих сторін розраховується за формулою

$$C_o = \frac{\Pi_o^n}{\Pi_o^h}. \quad (3)$$

Початкове співвідношення бойових потенціалів сил авіації сторін розраховується за формулою

$$C_o^{ab} = \frac{\sum_r \Pi_{ro} + \Pi_{so}}{\sum_m \Pi_{mo} + \Pi_{lo}}; r=m=1;4; s=l=1. \quad (4)$$

Бойові потенціали компонентів сил противника, що можуть прийняти участь в РАУ, та наших сил, які можуть залучатися для його відбиття, на i -му етапі бойових дій визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} \Pi_{ri} &= \Pi_{r(i-1)}^3 (1 - K_{pri}) K_{\Gamma ri}, \quad r = \overline{1, R}; \\ \Pi_{si} &= \xi_{si} \Pi_{s(i-1)}^3 (1 - K_{psi}) K_{\Gamma si}, \quad s = 1; \\ \Pi_{li} &= \Pi_{l(i-1)}^3 (1 - K_{pli}) K_{\Gamma li}, \quad l = \overline{1, L}. \end{aligned} \quad (5)$$

Аналогічно при завданні РАУ нашими силами:

$$\begin{aligned} \Pi_{mi} &= \Pi_{m(i-1)}^3 (1 - K_{pmi}) K_{\Gamma mi}, \quad m = \overline{1, M}; \\ \Pi_{li} &= \xi_{li} \Pi_{l(i-1)}^3 (1 - K_{pli}) K_{\Gamma li}, \quad l = 1; \\ \Pi_{si} &= \Pi_{s(i-1)}^3 (1 - K_{psi}) K_{\Gamma si}, \quad s = \overline{1, S}, \end{aligned} \quad (6)$$

де $\Pi_{r(i-1)}^3$, $\Pi_{s(i-1)}^3$, $\Pi_{m(i-1)}^3$, $\Pi_{l(i-1)}^3$ – збережені бойові потенціали відповідних компонентів на $(i-1)$ етапі бойових дій; ζ_{si} , ζ_{li} – частка винищувальної авіації противника і наших сил, що призначається для супроводження ударної авіації; K_{pri} , K_{psi} , K_{pmi} , K_{pli} – коефіцієнти резерву; $K_{\Gamma ri}$, $K_{\Gamma si}$, $K_{\Gamma mi}$, $K_{\Gamma li}$ – коефіцієнти бойової готовності.

Наприклад, для літаків можна приймати коефіцієнт резерву 0–0,1; коефіцієнт готовності 0,90–0,95 [3].

Для БР і КР коефіцієнти резерву використовуються для визначення частини БР, КР, які передбачається застосовувати на наступних етапах бойових дій.

Для першого етапу бойових дій бойові потенціали $\Pi_{r(i-1)}^3$, $\Pi_{s(i-1)}^3$, $\Pi_{m(i-1)}^3$, $\Pi_{l(i-1)}^3$ відповідають їх початковим значенням.

Важливе місце у методиці, структура якої наведена на рис. 3, займає визначення втрат бойових потенціалів компонентів систем ураження військ і об'єктів протидіючих сторін за етапами бойових дій.

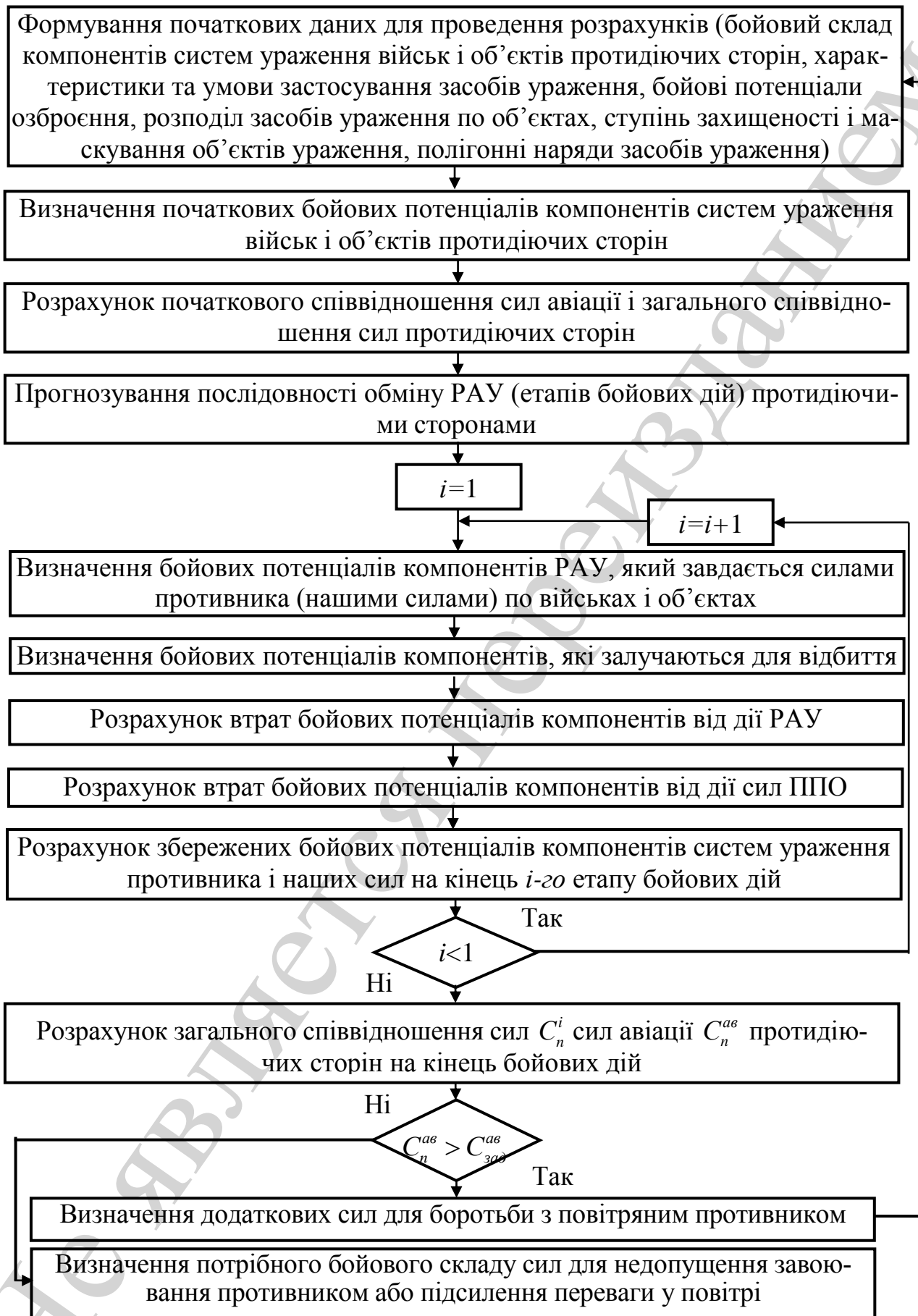


Рис. 3. Структурна схема методики обґрунтування потрібного бойового складу сил для недопущення завоювання або підсилення переваги противника у повітрі

Математичне сподівання втрат бойових потенціалів r -го та s -го компонентів зі складу РАУ противника від дії l -го компонента наших сил визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_{rli} &= P_{1rli} \cdot \Pi_{ri}, \quad r = \overline{1, R}; \\ \Delta\Pi_{sli} &= P_{1sli} \cdot \Pi_{si}, \quad s = 1, \end{aligned} \quad (7)$$

де P_{1rli} , P_{1sli} – середня імовірність знищення окремої цілі r -го та s -го компонента зі складу РАУ противника l -м компонентом наших сил при відбитті РАУ противника на i -му етапі бойових дій.

У загальному випадку для наземних і морських сил ППО (компоненти 2–4) середня імовірність знищення окремої цілі r -го компонента зі складу РАУ визначається відомим виразом [21]

$$P_{1r} = P_v \cdot P_{обс} [1 - (1 - R_{1r})^d], \quad (8)$$

де P_v – імовірність виявлення цілі до рубежу, коли комплекс здатний її обстріляти; $P_{обс}$ – імовірність обстрілу цілі; R_{1r} – імовірність ураження цілі r – компоненту однією ракетою з урахуванням процесу функціонування ЗРК; d – кількість ракет, що призначаються для обстрілу цілі.

Імовірність P_v визначається шляхом обробки статистичних даних щодо виявлення повітряних цілей в різних умовах (при відсутності або наявності перешкод).

Імовірність ураження повітряної цілі ЗРК однією ракетою є характеристикою комплексу, яка визначається за результатами полігонних випробувань та військових стрільб по реальних цілях.

Застосування засобів РЕБ для придушення ЗРК урахується коефіцієнтом $K_{зав} = 0,5 - 0,8$ [6], який задається у вихідних даних методики. У цьому випадку імовірність $R_{1r} = K_{зав} \cdot R'_{1r}$ (R'_{1r} – імовірність ураження цілі r -го компоненту однією ракетою). Кількість ракет, що призначаються для обстрілу цілі, визначається нормативними документами.

Визначення імовірності обстрілу цілі $P_{обс}$ угрупованням ЗРК здійснюється з використанням методів теорії масового обслуговування.

Для n ЗРК з малими зонами ураження (компоненти 3 і 4 підсистеми ураження засобів противника у повітрі, а також при відбитті удару БР (компонент 2) імовірність $P_{обсl}$ визначається за формулою Єрланга [21, 22]

$$P_{обсl} = 1 - \frac{\alpha^{n_l}}{n_l! \sum_{k=0}^{n_l} \frac{\alpha^k}{k!}}; \quad l = 2 - 4, \quad (9)$$

де $\alpha = \lambda t_{обсл}$; \square – щільність цілей у нальоті; $t_{обсл}$ – середній час обстрілу цілей комплексом l -го компоненту.

Ураховуючи, що БР і КР діють у РАУ окремо, при визначенні імовірності $P_{обсл}$ цих цілей ураховується щільність тільки їх нальоту.

Вирази для визначення величин ΔP_{rli} , ΔP_{sli} , можна записати у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \Delta P_{rli} &= \Pi_{ri} \cdot P_{\text{в}} \cdot K_{\text{учл}} P_{\text{обсл}rli} \left[1 - (1 - R_{1r})^{d_i} \right] b_{li}; \\ \Delta P_{sli} &= \Pi_{si} \cdot P_{\text{в}} K_{\text{учл}} P_{\text{обсл}sli} \left[1 - (1 - R_{1s})^{d_i} \right] b_{li}, \end{aligned} \quad (10)$$

де $K_{\text{учл}}$ – коефіцієнт участі комплексів l -го компоненту у відбитті РАУ (визначається за результатами військових навчань і моделювання бойових дій).

При розрахунках звичайно приймається: для ЗРК ЗРВ $K_{\text{уч}2} = 0,5$; для ВА $K_{\text{уч}1} = 0,3$; для зенітних комплексів ППО СВ і ВМС $K_{\text{уч}3} = K_{\text{уч}4} = 0,2$.

У процесі відбиття удару знижуються можливості сил ППО щодо його відбиття. Тому у залежності (10) уведений коефіцієнт b_{li} , який характеризує здатність сил ППО відбивати удар засобів повітряного нападу.

При визначенні імовірності обстрілу літаків і вертольотів $P_{\text{обсл}r}$, $P_{\text{обсл}s}$, комплексами з великими зонами ураження ($l=2$) необхідно ураховувати середній час перебування цілі у зоні ураження (час очікування), тобто необхідно розглядати систему масового обслуговування з очікуванням.

Імовірність знищення цілі r -го компоненту противника однією групою винищувачів визначається за формулою [23]

$$P_{1r} = P_{\text{в}} P_{\text{обсл}} P_{\text{нав}} [1 - (1 - R_{1r})^z], \quad (11)$$

де $P_{\text{обсл}}$ – імовірність того, що до моменту виходу цілі на рубіж підйому винищувачів буде вільним хоч один канал наведення та хоч один винищувач; $P_{\text{нав}}$ – імовірність наведення винищувача (групи) на ціль; R_{1r} – імовірність ураження цілі r -го компоненту сил противника одним винищувачем (за результатами полігонних випробувань); z – кількість винищувачів у групі.

Імовірність обслуговування $P_{\text{обсл}}$, як і ймовірність обстрілу $P_{\text{обс}}$, визначається за формулою Єрланга [21] у залежності від кількості бойових каналів. При цьому $\alpha = \lambda T_{\text{цн}}$, де $T_{\text{цн}}$ – тривалість циклу наведення.

Імовірність наведення винищувача на ціль

$$P_{\text{нав}} = \Phi \left(\frac{\Delta Q_{\text{доп}}}{\sigma_Q} \right), \quad (12)$$

де Φ – функція розподілу Лапласа; $\Delta Q_{\text{доп}}$ – допустима помилка наведення по курсу; σ_Q – середня квадратична помилка наведення по курсу.

Можна прийняти, що винищувачі будуть розподілятися для знищення цілей r -го та s -го компонентів сил противника відповідно до співвідношення їх бойових потенціалів в РАУ. У такому випадку математичні сподівання величин втрат бойових потенціалів r -го та s -го компонентів противника від дій винищувальної авіації наших сил ($l=1$) можна визначити за формулами:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_{rli} &= B_r \frac{\Pi_{ri}}{\Pi_{ri} + \Pi_{si}} \cdot P_{1rl} \frac{n_{li}}{z}, \\ \Delta\Pi_{sli} &= B_s \frac{\Pi_{si}}{\Pi_{ri} + \Pi_{si}} \cdot P_{1sl} \frac{n_{li}}{z}; \quad r = 1; 4; \quad s = 1; \quad l = 1, \end{aligned} \quad (13)$$

де n_{li} – кількість винищувачів, які застосовуються на i -му етапі бойових дій.

Аналогічні залежності (10), (13) використовуються для визначення втрат бойових потенціалів компонентів наших сил при завданні РАУ від дії сил ППО противника.

При завданні противником РАУ винищувачами супроводження з імовірністю $P_{1ls}(l=1, s=1)$ будуть знищуватися винищувачі наших сил. Аналогічно при завданні РАУ нашими силами. Математичне сподівання величини втрат бойового потенціалу нашої винищувальної авіації від дій винищувачів супроводження противника

$$\Delta\Pi_{lsi} = B_l \frac{\Pi_{si}}{B_s z} P_{1ls}. \quad (14)$$

У ході бойових дій РАУ будуть завдаватися по засобах підсистеми ураження засобів у місцях їх базування і на позиціях, по засобах підсистеми ураження засобів у повітрі, а також по інших військових об'єктах. Розподіл засобів ураження здійснюється при плануванні РАУ. У методиці, що розглядається, пропонувано розподіл засобів ураження у РАУ здійснювати з використанням коефіцієнтів F_{rm} та F_{rl} (при завданні РАУ противником) і F_{mr} та F_{ms} (при завданні РАУ нашими силами). При цьому повинні виконуватися умови:

$$\begin{aligned} \sum_m F_{rm} + \sum_l F_{rl} &\leq 1, \\ \sum_r F_{mr} + \sum_s F_{ms} &\leq 1. \end{aligned} \quad (15)$$

При плануванні РАУ звичайно визначаються об'єкти і полігонні наряди засобів, які забезпечують їх ураження [3].

При визначенні полігонних нарядів ураховується захищеність і маскуваність об'єктів ураження.

Середня кількість засобів ураження r -го компоненту сил противника в РАУ, що призначається для ураження одного засобу m -го або l -го компонентів наших сил

$$v_{rm} = \frac{N_{rm}}{q_{rm}}; \quad v_{rl} = \frac{N_{rl}}{q_{rl}}, \quad (16)$$

де N_{rm}, N_{rl} – кількість засобів ураження r -го компоненту сил противника в РАУ у полігонних нарядах для ураження засобів m -го або l -го компоненту наших сил відповідно; q_{rm}, q_{rl} – кількість засобів m -го або l -го компонентів наших сил, які планує уражати противник r -м компонентом своїх сил.

Математичні сподівання величин бойових потенціалів m -го або l -го компонентів наших сил, що знищуються r -м компонентом сил противника при завданні РАУ, визначаються за формулами:

$$\Delta\Pi_{mri} = \frac{\left(\Pi_{ri} - \sum_l \Delta\Pi_{rli} \right) \cdot B_m \cdot F_{rm}}{v_{rm} \cdot B_r};$$

$$\Delta\Pi_{lri} = \frac{\left(\Pi_{ri} - \sum_l \Delta\Pi_{rli} \right) \cdot B_l \cdot F_{rm}}{v_{rl} \cdot B_r}. \quad (17)$$

Математичні сподівання величин бойових потенціалів r -го або s -го компонентів сил противника, що знищуються при завданні РАУ нашими силами, розраховуються за аналогічними залежностями.

Наведені вище залежності дозволяють розрахувати збережені бойові потенціали компонентів сил протидіючих сторін на кінець i -го етапу бойових дій (табл. 1).

У табл. 1 в позначеннях математичних сподівань втрат величин бойових потенціалів $\square\Pi$ перша цифра означає номер компоненти, яка зазнає втрат бойового потенціалу, друга – номер компоненти, яка завдає втрати бойового потенціалу.

Використовуючи вирази, що наведені у табл. 1, співвідношення бойових потенціалів протидіючих сторін на кінець i -го етапу бойових дій визначається таким чином

$$C_i = \frac{\sum_r \Pi_{ri}^3 + \sum_s \Pi_{si}^3}{\sum_m \Pi_{mi}^3 + \sum_l \Pi_{li}^3}; \quad r=1, R; \quad s=1, S; \quad m=1, M; \quad l=1, L. \quad (18)$$

Співвідношення бойових потенціалів сил авіації сторін аналогічно (4) на кінець i -го етапу бойових дій, визначається за формулою

$$C_i^{ab} = \frac{\sum_r \Pi_{ri}^3 + \Pi_{si}^3}{\sum_m \Pi_{mi}^3 + \Pi_{li}^3}; \quad r=m=1,4; \quad s=l=1. \quad (19)$$

Для недопущення завоювання противником або підсилення переваги у повітрі необхідно забезпечити співвідношення бойових потенціалів авіації протидіючих сторін на кінець бойових дій не більше заданого, яке може дорівнювати $C_{зад}^{ab} = 1,5 - 2,0$ [24, 25].

Критерій $C_{зад}^{ab}$ може задаватися ще меншим. Виконання цієї умови може досягатися нарощенням відповідних сил на загрозовому напрямку бойових дій або зміною на більш доцільну послідовність завдання РАУ по військах і об'єктах противника.

Відповідно до структурної схеми методики, наведеної на рис. 3, після визначення таких заходів розрахунки повторюються, що може здійснюватися неодноразово (застосовується метод ітерацій). Після виконання умови недопущення завоювання або підсилення противником переваги у повітрі визначається потрібний бойовий склад наших сил для виконання цього завдання.

Таблиця 1

Вирази для розрахунку збережених бойових потенціалів засобів компонентів протидіючих сил на етапах бойових дій

Показники (характеристики)	Залежності для розрахунку збережених бойових потенціалів
Удар завдається противником	
Збережені бойові потенціали засобів r -х компонентів сил противника ($r=\overline{1, R}$)	$\Pi_{li}^3 = \Pi_{1(i-1)}^3 - \sum_l \Delta \Pi_{li}, \quad l=\overline{1, L}$
	$\Pi_{2i}^3 = \Pi_{2(i-1)}^3 \left[1 - K_{\Gamma 2i} (1 - K_{p2i}) \right]$
	$\Pi_{3i}^3 = \Pi_{3(i-1)}^3 \left[1 - K_{\Gamma 3i} (1 - K_{p3i}) \right]$
	$\Pi_{4i}^3 = \Pi_{4(i-1)}^3 - \sum_l \Delta \Pi_{4li}, \quad l=\overline{1, L}$
Збережені бойові потенціали засобів s -х компонентів сил противника ($s=\overline{1, S}$)	$\Pi_{li}^3 = \Pi_{1(i-1)}^3 - \sum_l \Delta \Pi_{li}, \quad l=\overline{1, L}$
	$\Pi_{2i}^3 = \Pi_{2(i-1)}^3; \Pi_{3i}^3 = \Pi_{3(i-1)}^3; \Pi_{4i}^3 = \Pi_{4(i-1)}^3$
Збережені бойові потенціали засобів m -х компонентів наших сил ($m=\overline{1, M}$)	$\Pi_{mi}^3 = \Pi_{m(i-1)}^3 - \sum_r \Delta \Pi_{mri}, \quad r=\overline{1, R}$
Збережені бойові потенціали засобів l -х компонентів наших сил ($l=\overline{1, L}$)	$\Pi_{li}^3 = \Pi_{l(i-1)}^3 - \sum_r \Delta \Pi_{lri}, \quad r=\overline{1, R}$

Удар завдається нашими силами	
Збережені бойові потенціали засобів m -х компонентів наших сил ($m=\overline{1, M}$)	$\Pi_{1i}^3 = \Pi_{1(i-1)}^3 - \sum_s \Delta \Pi_{1si}, s = \overline{1, S}$
	$\Pi_{2i}^3 = \Pi_{2(i-1)}^3 \left[1 - K_{\Gamma 2i} (1 - K_{p2i}) \right]$
	$\Pi_{3i}^3 = \Pi_{3(i-1)}^3 \left[1 - K_{\Gamma 3i} (1 - K_{p3i}) \right]$
	$\Pi_{4i}^3 = \Pi_{4(i-1)}^3 - \sum_s \Delta \Pi_{4s}, s = \overline{1, S}$
Збережені бойові потенціали засобів l -х компонентів наших сил ($l=\overline{1, L}$)	$\Pi_{1i}^3 = \Pi_{1(i-1)}^3 - \sum_s \Delta \Pi_{1si}, s = \overline{1, S}$
	$\Pi_{2i}^3 = \Pi_{2(i-1)}^3; \Pi_{3i}^3 = \Pi_{3(i-1)}^3; \Pi_{4i}^3 = \Pi_{4(i-1)}^3$
Збережені бойові потенціали засобів r -х компонентів сил противника ($r=\overline{1, R}$)	$\Pi_{ri}^3 = \Pi_{r(i-1)}^3 - \sum_m \Delta \Pi_{rmi}, m = \overline{1, M}$
Збережені бойові потенціали засобів s -х компонентів сил противника ($s=\overline{1, S}$)	$\Pi_{si}^3 = \Pi_{s(i-1)}^3 - \sum_m \Delta \Pi_{smi}, m = \overline{1, M}$

Застосування принципів системного аналізу при розробці методичних положень обґрунтування бойового складу сил для дій у повітряному просторі дозволило урахувати взаємний вплив компонентів протидіючих сторін на втрати їх бойових потенціалів у ході бойових дій і тим самим коректно визначити потрібний бойовий склад наших сил для недопущення завоювання або підсилення противником переваги у повітрі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в урахуванні комплексного поетапного застосування різнорідних засобів ураження при оцінюванні втрат сил протидіючих сторін в ході бойових дій за перевагу у повітрі.

Це дозволило розробити цілісну методику обґрунтування потрібного бойового складу сил для недопущення завоювання або підсилення переваги противника у повітрі.

5. Порядок визначення потрібного бойового складу сил для дій у повітряному просторі на прикладі визначення складу ударної авіації

Розглянуто два етапи бойових дій: на першому етапі РАУ завдається противником, на другому – нашими силами. Початкові бойові потенціали компонентів наших сил і противника (варіант 1) в умовних одиницях наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Початкові бойові потенціали компонентів наших сил і противника

Найменування зразків озброєння компонентів сил сторін	Сили противника	Наши сили		
		Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Літаки ударної авіації	1500	900	1050	1200

Балістичні ракети тактичного призначення	100	200	200	200
Вертольоти	300	160	160	160
Літаки винищувальної авіації	240	490	490	490
Зенітні ракетні комплекси ЗРВ	60	90	90	90
Зенітні комплекси ППО СВ	20	60	60	60
Початкове співвідношення бойових потенціалів сил протидіючих сторін, C_0		1,17	1,08	1,00
Початкове співвідношення бойових потенціалів сил авіації протидіючих сторін, $C_0^{ав}$		1,29	1,20	1,10

При проведенні розрахунків коефіцієнти бойової готовності, резерву, участі засобів у бойових діях та інші прийняті відповідно до існуючих нормативів і за результатами навчань. Можливості бойових засобів щодо ураження повітряних цілей прийняті відповідно до їх тактико-технічних характеристик. Полігонні наряди БР і авіації для ураження об'єктів відповідають нормативам, які застосовувались раніше під час проведення оперативно-тактичних розрахунків.

Метою розрахунків з використанням розробленої методики є визначення потрібного бойового потенціалу нашої ударної авіації: по-перше, для виконання завдання щодо недопущення підсилення переваги авіації противника у повітряному просторі, по-друге, для забезпечення рівності бойових потенціалів авіації своїх військ і противника після двох етапів бойових дій.

Вихідним для розрахунків є перший варіант (табл. 2) початкових бойових потенціалів компонентів наших сил. Для виконання першого завдання критерій $C_{зад}^{ав} = 1,29$, для виконання другого завдання $C_{зад}^{ав} \approx 1$.

Результати визначення збережених бойових потенціалів компонентів наших сил і противника за етапами дій наведені у табл. 3.

Таблиця 3
Збережені бойові потенціали компонентів протидіючих сторін

Показники	Найменування зразків озброєння компонентів сил сторін	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
		Етапи бойових дій		Етапи бойових дій		Етапи бойових дій	
		1– РАУ про- тив- ника	2– РАУ на- ших сил	1– РАУ про- тив- ника	2– РАУ на- ших сил	1– РАУ про- тив- ника	2– РАУ на- ших сил
Збережені бойові потенціали компонентів	Літаки ударної авіації	1038	672	1038	632	1038	594
	Балістичні ракети тактичного при-	46	4	46	4	46	4

ударних сил противника	начення						
	Вертольоти	215	183	215	182	215	181
Збережені бойові потенціали компонентів сил ППО противника	Літаки винищувальної авіації	228	174	228	154	228	131
	Зенітні ракетні комплекси ЗРВ	60	39	60	39	60	39
	Зенітні комплекси військ ППО СВ	20	13	20	13	20	13
Збережені бойові потенціали компонентів наших ударних сил	Літаки ударної авіації	398	262	548	377	698	489
	Балістичні ракети тактичного призначення	177	81	177	81	177	81
	Вертольоти	97	70	97	71	93	68
Збережені бойові потенціали компонентів наших сил ППО	Літаки винищувальної авіації	324	306	324	307	324	308
	Зенітні ракетні комплекси ЗРВ	78	78	78	78	78	78
	Зенітні комплекси військ ППО СВ	44	44	44	44	44	44

Результати розрахунку співвідношень бойових потенціалів протидіючих сил сторін за етапами бойових дій наведені на рис. 4.

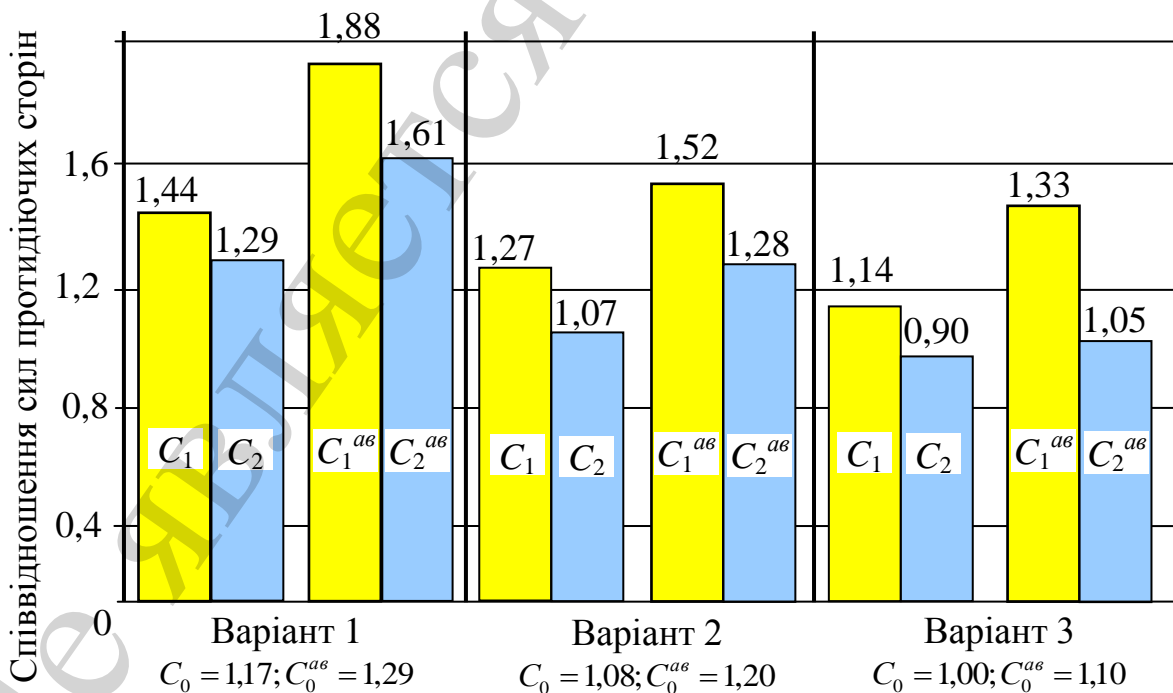


Рис. 4. Зміна співвідношення бойових потенціалів сил протидіючих сторін за варіантами, що розглядаються у прикладі

Наведені на рис. 4 результати ілюструють залежність загального співвідношення і співвідношення сил авіації протидіючих сторін від їх початкового бойового складу.

Це, у свою чергу, дозволяє оцінювати ефективність заходів, які проводяться органами військового управління для недопущення завоювання або підсилення переваги противника у повітряному просторі.

6. Обговорення результатів дослідження бойового складу сил, що застосовуються у повітряному просторі

З результатів наведеного прикладу випливає, що при бойових потенціалах компонентів наших сил, які є вихідними (варіант 1), не забезпечується виконання завдання щодо недопущення підсилення переваги сил авіації противника у повітрі (після нашого РАУ $C_2^{ab} = 1,61$, що суттєво перевищує початкове співвідношення $C_0^{ab} = 1,29$).

Це пояснюється недостатністю бойового потенціалу нашої ударної авіації для ураження засобів противника у місцях їх базування і на позиціях.

Для виконання поставленого завдання потрібно збільшити бойовий потенціал (склад) нашої ударної авіації на 150 ум. од. (на 16 %) (табл. 2 варіант 2). При цьому співвідношення сил авіації після завдання нашого РАУ $C_2^{ab} = 1,28$. Для забезпечення рівності сил авіації протидіючих сторін бойовий потенціал нашої ударної авіації необхідно збільшити на 33 % до 1200 ум. од. (табл. 2 варіант 3).

На прикладі розрахунку складу ударної авіації показано працездатність розробленої методики обґрунтування потрібного бойового складу сил для недопущення завоювання або підсилення переваги противника у повітрі.

Розроблені методичні положення можуть використовуватися для визначення потрібного бойового потенціалу (складу) не тільки ударної авіації, а й всіх компонентів системи ураження військ і об'єктів противника з метою недопущення підсилення або завоювання ним переваги у повітрі.

Особливість запропонованого методу у порівнянні з іншими полягає у поетапному урахуванні комплексного застосування всіх різнорідних сил противника і наших військ, які приймають участь у боротьбі за перевагу у повітрі.

При проведенні досліджень з використанням розробленої методики обмеженням є наявність у збройних силах озброєння для виконання завдання щодо недопущення завоювання або підсилення переваги противника у повітрі.

Методика не передбачає застосування засобів ураження, розроблених з використанням нових фізичних принципів.

Розроблені методичні положення щодо обґрунтування бойового складу сил для дій у повітряному просторі доцільно використовувати при створенні відповідного спеціального математичного програмного забезпечення для органів військового управління.

Недоліком запропонованої методики є недостатньо повне урахування особливостей процесу застосування різнорідних сил протидіючих сторін в операції (бою), що може бути у перспективі усунено використанням математичної мо-

делі двосторонніх бойових дій. Тому створення такої моделі для обґрунтування бойового складу сил, які повинні діяти в інтересах боротьби за перевагу у повітрі, є перспективним напрямом розвитку даного дослідження.

7. Висновки

1. Показано доцільність розгляду сукупності різнорідних сил, що приймають участь у боротьбі за перевагу у повітряному просторі, як складної організаційно – технічної системи військового призначення – системи ураження військ і об'єктів. Отриманий шляхом її декомпозиції морфологічний зріз дозволив визначити вплив застосування компонентів системи на перевагу авіації противника під час ведення бойових дій.

2. Прийнято за критерій переваги авіації противника вважати співвідношення бойових потенціалів сил авіації протидіючих сторін на кінець бойових дій, який дорівнює 1,5–2,0. Відповідно до запропонованого методичного підходу визначення потрібного складу сил для недопущення завоювання або підсилення переваги авіації противника здійснюється на підставі порівняння значень розрахункового і заданого критерію. Заходи щодо недопущення завоювання переваги авіації противника визначаються з використанням методу ітерацій.

3. Для розрахунку співвідношень сил протидіючих сторін одержані математичні вирази для визначення збережених бойових потенціалів компонентів сил сторін на кожному етапі бойових дій, які ураховують математичні сподівання їх втрат при обміні ракетно-авіаційними ударами.

4. На прикладі визначено потрібний склад наших сил для недопущення переваги противника у повітрі. За початковими даними наведеного прикладу співвідношення бойових потенціалів сил авіації протидіючих сторін на початок бойових дій складає 1,29, а після обміну РАУ – 1,61, що свідчить про досягнення противником переваги у повітрі. Показано, що для недопущення переваги сил авіації противника, при урахуванні комплексного застосування всіх протидіючих сил, доцільно збільшити бойовий потенціал (склад) ударної авіації на 16 %. При цьому співвідношення бойових потенціалів сил авіації протидіючих сторін після обміну РАУ буде складати 1,28.

Література

1. Томашев В. Н. О совершенствовании методов оценки боевых возможностей войск // Наука и военная безопасность. 2006. № 2. С. 18–22.

2. Загорка О. М., Перепелиця В. А., Заплішна А. І. Методичні підходи до визначення бойових потенціалів і коефіцієнтів порівняння зразків озброєння та військової техніки // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ Збройних Сил України. 2008. № 19. С. 32–43.

3. Прогнозування втрат військ і об'єктів від авіаційних ударів противника / Онищенко С. І., Загорка О. М., Коваль В. В., Тюрін В. В. // Системи озброєння і військова техніка. 2011. № 2. С. 2–8.

4. Прогнозування співвідношення сил і засобів протидіючих сторін у ході повітряної операції / Онищенко С. І., Загорка О. М., Коваль В. В., Тюрін В. В. // Системи озброєння і військова техніка. 2011. № 1. С. 2–7.

5. Онищенко С. І., Загорка О. М., Коваль В. В. До питання розподілення сил та визначення послідовності завдання ракетно-авіаційних ударів у повітряній операції // *Наука і оборона*. 2012. № 1. С. 39–44.
6. Можаровський В. М., Годзь С. В. Методичні аспекти обґрунтування бойового складу Збройних Сил держави з позицій теорії відверненого збитку // *Кибернетика і системний аналіз*. 2018. Т. 54, № 1. С. 154–167.
7. Сафронов С. П., Шишкін В. С. До питання визначення кількісно-якісного співвідношення сил авіаційних угруповань // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2011. № 2 (6). С. 10–11.
8. Бонин А. С. Методика обоснования потребного состава авиационной группировки на стратегическом направлении в операциях начального периода войны // *Вестник Академии военных наук*. 2014. № 3 (48). С. 39–42.
9. Дроздов С. С., Леонтьев О. Б. Методика постановки та розв'язування зворотної задачі оптимізації бойового (кількісно-якісного) складу тактичної авіації і зенітних ракетних військ перспективних Повітряних сил // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2017. № 2 (27). С. 7–14.
10. Розробка науково-методичних положень щодо попереднього обґрунтування кількісно-якісного складу зенітного ракетного озброєння угруповання зенітних ракетних військ / Ланецький Б. М., Лук'янчук В. В., Васильєв В. А., Коваль І. В. // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2012. № 3 (9). С. 58–60.
11. Faber P. *Competing Theories of Airpower: a Language for Analysis*. URL: <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/au/faber.htm>
12. Grunwald Jr. M. *Transforming Air Force ISR for the long war and beyond*. 2009. URL: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a495105.pdf>
13. Speed J., Panagiotis S. *SEAD Operations of the Future. The Necessity of Jointness* // *The Journal of the JAPCC*. 2018. URL: <https://www.japcc.org/sead-operations-of-the-future/>
14. Liu Y., A. Simaan M., B. Cruz Jr J. *An application of dynamic Nash task assignment strategies to multi-team military air operations* // *Automatica*. 2003. Vol. 39, Issue 8. P. 1469–1478. doi: [https://doi.org/10.1016/s0005-1098\(03\)00122-5](https://doi.org/10.1016/s0005-1098(03)00122-5)
15. Ryan A. J. *Military Applications of Complex Systems* // *Philosophy of Complex Systems*. 2011. P. 723–780. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52076-0.50024-9>
16. *Weapon System Capability Assessment under uncertainty based on the evidential reasoning approach* / Jiang J., Li X., Zhou Z., Xu D., Chen Y. // *Expert Systems with Applications*. 2011. Vol. 38, Issue 11. P. 13773–13784. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.179>
17. Barszcz P., Zieja M. *Method of Choosing the Information Technology System Supporting Management of the Military Aircraft Operation* // *Research Works of Air Force Institute of Technology*. 2014. Vol. 35, Issue 1. P. 141–154. doi: <https://doi.org/10.1515/afit-2015-0010>
18. Николаев В. И., Брук В. М. *Системотехника: методы и приложения*. Л.: Машиностроение, 1985. 199 с.

19. Елементи дослідження складних систем військового призначення / Загорка О. М., Мосов С. П., Сбітнєв А. І., Стужук П. І. К.: НАОУ, 2005. 100 с.
20. Баскаков А. Я., Туленков Н. В. Методология научного исследования: учеб. пос. К.: МАУП, 2002. 216 с.
21. Петухов С. И., Степанов А. Н. Эффективность ракетных средств ПВО. М.: Воениздат, 1976. 104 с.
22. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: “Советское радио”, 1972. 552 с.
23. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): монографія / Городнов В. П., Дробаха Г. А., Єрмошин М. О., Смірнов Є. Б., Ткаченко В. І. Харків: ХВУ, 2004. 410 с.
24. Рудненко А. В. О критериях достижения целей воздушных операций и операций объединений ВВС // Военная мысль. 1999. № 2. С. 46–52.
25. Загорка О. М., Коваль В. В., Жарик О. М. До питання обґрунтування показників і критеріїв ефективності протиповітряної оборони // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2013. № 2 (11). С. 35–40.