

УДК 623

М.О. Єрмошин

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків***МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ**

*У статті розглядається математична модель структури системи протиповітряної оборони як складові з моделей структури систем розвідки, зенітного ракетно-артилерійського прикриття, винищувального авіаційного прикриття, РЕБ, забезпечення, управління.*

**математична модель структури системи протиповітряної оборони****Вступ**

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності функціонування системи ППО може бути компенсовано за рахунок якісних змін в їхньому складі, оснащеності сучасними зразками озброєння, пошуку адаптивних структур системи ППО, нових форм і способів математичного моделювання функціонування системи ППО під час вироблення рішень. Одною із основних завдань, що із цього виникає – це створення математичних моделей структури системи ППО.

**Аналіз літератури.** Питанням визначення моделі структури такої системи присвячені матеріали статутів та інших посібників Аналіз праць за даною тематикою [1 – 3] показав, що дане питання (особливо в його прикладній частині) розкриті й аргументовані в недостатній мірі. Так в [1] наведено тільки зміст системи ППО. В [2] надана система показників і критеріїв, однак не ураховані особливості ППО угруповань військ.

**Мета статті:** Надання пропозицій щодо побудови математичної моделі структури системи протиповітряної оборони.

**Розділ основного матеріалу**

Математична модель структури системи ППО, як опис суттєвих елементів цієї структури та відношень між ними, що виражені на класі абстрактних математичних об'єктів і відношень між ними. Така модель буде коректною, якщо будуть встановлені коректні правила перетворення структури, які пов'язують реальні фізичні об'єкти та відношення між ними з відповідними оригіналами моделі.

Таку модель структури потрібно відобразити у вигляді матриці інцидентності, яка визначаються через елементи систем розвідки, зенітного ракетно-артилерійського прикриття, винищувального авіаційного прикриття, РЕБ, управління, забезпечення бойових дій військ (сил) ППО: вхідні напрямки зв'язку (відношення) – вогневі підрозділи (споживачі ЗРВ, ВА, РЕБ); вхідні та вихідні напрямки зв'язку (відношення) – пункти управління, пункти наведення (споживачі або джерела); вихідні напрямки

зв'язку (відношення) – підрозділи розвідки, забезпечення (джерела).

Для побудови математичної моделі структури системи ППО безпосередньо використовуються дані обстановки та результати з'ясування бойового завдання, оцінки обстановки, встановлених термінів готовності військ (сил) ППО до майбутніх бойових дій. Вони повинні забезпечити на етапі побудови математичної моделі структури системи ППО: збір, обробку та надання командирі ППО достовірної інформації; раціональне використання бойових можливостей військ (сил) ППО; безупинну підтримку взаємодії, управління та забезпечення; виконання вказівок вищестоящего командира; обґрунтованість рішення на бойові дії; надання підрозділам ППО можливо більшого часу для безпосередньої підготовки до виконання поставлених бойових завдань.

Структура системи ППО у порівнянні з іншими системами військового призначення має ряд характерних рис [1]: наявність багатифункціональних об'єктів управління різної складності, що породжує, у свою чергу, інтенсивні потоки інформації, різноманітної та неоднорідної за складом, призначенням, способом кодування тощо; обумовленість зміни структури таких систем за характером дій ВА при відбитті раптових ударів ЗПН у складних умовах обстановки; широкий діапазон зміни станів систем при збереженні структури та при високій динамічності темпів зміни цих станів; функціонування системи у великих просторових масштабах і в реальному масштабі часу, наявність особливостей, що дозволяють віднести її до категорії систем з перемінною структурою; одночасне вирішення бойових завдань різноманітними силами та засобами ППО; високий рівень автоматизації задач, які розв'язуються в процесі бойової діяльності; прийняття рішень у відведений час і за недостатньої інформації про обстановку, що вимагає умінь командирів в ухваленні рішень з ризиком.

Основні вимоги до структури системи ППО є такі: ієрархія створення структури системи ППО; адаптація структури системи ППО при підготовці та веденні бойових дій військ пристосовано до зміни умов обстановки; забезпечення ефективності та стійкості функціонування системи ППО; забезпечення

шаруватості зон вогню, що реалізуються; вибір таких типів, такого складу військ (сил), що дозволяють вести боротьбу з ЗПН та іншими цілями у всьому діапазоні висот і швидкостей їх польоту; поєднання дій військ (сил) ППО, що забезпечують боротьбу з ЗПН на дальніх підступах до об'єктів та безпосередньо; спроможність системи ППО до всебічного забезпечення, до автоматизованого та безперервного управління бойовими діями у реальному масштабі часу, до

підтримки взаємодії між силами та засобами ППО; забезпечення вибору раціонального варіанту бойового порядку угруповань військ (сил) ППО.

Основними елементами системи ППО у складі угруповань військ (сил), які розгорнуті в бойовий порядок відповідно єдиного замислу та плану ППО, є елементи систем розвідки, зенітного ракетно-артилерійського прикриття, винищувального авіаційного прикриття, РЕБ, забезпечення, управління (рис. 1).

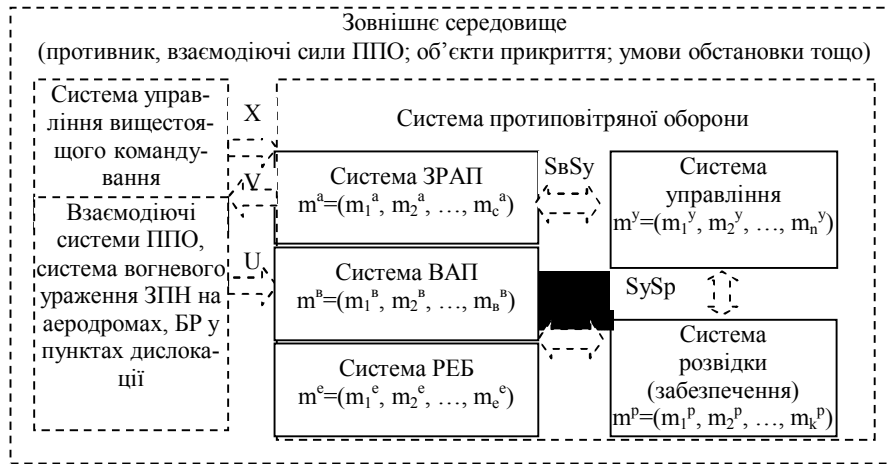


Рис. 1. Структурна схема системи протиповітряної оборони

Припустимо, що система ППО  $S_b, S_p, S_y$  цілком взаємно включає внутрішнє та зовнішнє  $S_z$  середовище. До вхідних даних системи ППО віднесемо дані з зовнішнього впливу ( $U$ ) і управління ( $X$ ). Дані з управління відповідають командам на зміну значень структурних параметрів (зміни бойового завдання угруповань військ, наприклад, командам на зміну позицій підрозділів, командам на зміну об'єктів прикриття тощо). Дані зовнішнього впливу на систему віднесемо, наприклад, значення параметрів попередньої розвідки складу та стану противника, значення параметрів удару ЗПН та ін. До вихідних даних системи ( $V$ ) віднесемо, наприклад, значення параметрів з ефективності бойових дій, структури системи та ін.

Системи ЗРАП, ВАП, РЕБ як активні компоненти системи ППО характеризується набором значень показників (просторових, часових, імовірнісних, кількісних), які визначають їх структуру, параметри стану тощо. Побудова систем ППО досягається розгортанням елементів (підрозділів) у бойовий порядок. Складовими елементами активних систем є підрозділи та зони їх дій, що реалізуються. Тому до структурних параметрів віднесемо ТТХ ОВТ, що стоять на озброєнні, координати основних і запасних позицій підрозділів, взаємозв'язки між ними, зони дій тощо.

Для побудови системи ППО і визначення її структури необхідно вирішити взаємозалежні проблемні питання: розробити математичні засоби, що орієнтовані на той чи інший клас методів; розробити достатньо універсальні моделі, за допомогою яких можна вирішувати всі або, принаймні, більшість

задач в тій чи іншій предметній галузі та домогтися їхнього затвердження як галузевих стандартів з урахуванням обмежень і припущень; розробити спеціалізовані моделі для розв'язання окремих задач, що забезпечують оцінку всіх або частини вхідних параметрів універсальної моделі. Така технологія синтезу структури системи ППО та оцінки ефективності функціонування складних систем дозволяє уникнути існуючих недоліків, а головне, дозволяє істотно підвищити якість моделей і задач, узгодженість прийнятих рішень.

Відповідно до варіантів структури системи ППО визначаються матриці інцидентності за типами нечіткості структури [2], які надають взаємозв'язки та відношення між компонентами (елементами) системи ППО, що характеризують її властивості

$$W[\bar{E}] = \{z_{jk}\}, \quad \bar{E} = [e_1, e_2, \dots, e_g],$$

де  $E$  – вектор компонент (елементів) системи ППО;  $e_g$  – число на інтервалі  $[0, 1]$ , що характеризує наявність елементів у системі та зв'язків між ними;  $g$  – кількість компонент (елементів) у системі ППО;  $z_{jk}$  – зв'язки (відношення) між компонентами (елементами) системи.

Нульовий тип нечіткості структури системи ППО характеризується тим, що всі  $E$  компоненти (елементи) системи ППО визначені, а зв'язки між ними та відношення  $z_{jk}$  надаються як значення 0 та 1.

Матриця інцидентності має параметри тільки елементів системи ППО з відповідними значеннями взаємозв'язків і відношень, що характеризують її властивості та дорівнюють 0 та 1 (0 – немає зв'язку; 1 – є зв'язок), наприклад,

$$\{z_{jk}\} = \left\{ \begin{matrix} z_{11}z_{12}z_{1k} \\ z_{21}z_{22}z_{2k} \\ z_{j1}z_{j2}z_{jk} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix} \right\}.$$

Задача синтезу таких структур зводиться до вибору найкращої матриці інцидентності за максимальною кількістю взаємозв'язків між елементами системи ППО відповідно до підпорядкованості військ (сил) ППО та тих, хто надає вогневим підрозділам бойову інформацію.

*Перший тип нечіткості* структури системи ППО характеризується тим, що всі  $E$  компоненти (елементи) системи ППО *визначені*, а зв'язки та відношення  $z_{jk}$  надаються як значення імовірнісних показників того, що між елементами  $j$  та  $k \in$  зв'язку у напрямках від  $E_j$  до  $E_k$ , які приймають значення від 0 до 1, або функції належності. Матриця інцидентності має параметри елементів системи зі значеннями відношень від 0 до 1.

Задача синтезу таких структур зводиться до вибору матриці інцидентності, яка при змінах значень імовірності у заданих межах від 0 до 1 має кращі їх значення для варіантів структури та забезпечує максимальну кількість взаємозв'язків і відношень між елементами системи ППО і взаємодіючими силами.

*Другий тип нечіткості* структури системи ППО характеризується тим, що склад  $E$  компонент (елементів) системи ППО *визначений нечітко* або існує відповідно до певної ймовірності, а зв'язки та відношення  $z_{jk}$  надаються як для нульового або першого типу нечіткості. Матриця інцидентності має елементи зі значеннями взаємозв'язків і відношень від 0 до 1.

Задача синтезу зводиться до вибору матриці інцидентності пристосовано до зміни умов обстановки та забезпечує максимальну кількість взаємозв'язків і відношень між елементами системи ППО і взаємодіючими системами ППО та вогневого ураження.

У цілому, математична модель структури системи ППО визначається за формулою

$$W[E] = \{z_{jk}\},$$

де  $E = (E_p, E_b, E_a, E_g, E_y, E_s)$  – вектор компонент системи ППО (розвідки, ЗРАП, ВАП, РЕБ, управління, забезпечення).

Математична модель структури системи розвідки

$$W[E_p] = \{z_{jk}^p\},$$

де  $\bar{E}_p = |e_{1p}, e_{2p}, \dots, e_{gp}|$  – вектор елементів (підрозділів) системи розвідки;  $e_{gp}$  – число (1 – при наявності  $g$ -го елемента в системі, 0 – навпаки) або функція належності від типів засобів розвідки (за точністю).

Елементи системи розвідки – радіо- і радіотехнічні підрозділи та їх зони виявлення (напрямки, рубежі), КП з бойовою обслугою.

Математична модель структури системи ЗРАП

$$W[E_b] = \{z_{jk}^b\},$$

де  $\bar{E}_b = |e_{1b}, e_{2b}, \dots, e_{gb}|$  – вектор елементів системи ЗРАП;  $e_{gb}$  – число (1 – при наявності  $g$ -го елемента

в системі, 0 – навпаки) або функція належності від типів озброєння вогневих підрозділів.

Елементи системи ЗРАП – зенітні ракетні та зенітні ракетно-артилерійські підрозділи (група дивізіонів, озрдн, зрадн, зрдн, зрбатр, забатр) та їх зони вогню (напрямки, рубежі), КП з бойовою обслугою.

Математична модель структури системи ВАП

$$W[E_a] = \{z_{jk}^a\},$$

де  $\bar{E}_a = |e_{1a}, e_{2a}, \dots, e_{ga}|$  – вектор елементів системи ВАП;  $e_{gy}$  – число (1 – при наявності  $g$ -го елемента в системі, 0 – навпаки) або функція належності від типів винищувачів. Елементи системи винищувального авіаційного прикриття – винищувальні авіаційні підрозділи та їх зони дій (напрямки, рубежі), КП та ПН з бойовою обслугою.

Математична модель структури системи РЕБ

$$W[E_g] = \{z_{jk}^g\},$$

де  $\bar{E}_g = |e_{1g}, e_{2g}, \dots, e_{gg}|$  – вектор елементів системи РЕБ;  $e_{gy}$  – число (1 – при наявності  $g$ -го елемента в системі, 0 – навпаки) або функція належності від типів озброєння підрозділів РЕБ. Елементи системи РЕБ – підрозділи РЕБ (р-РЕБ, вз-РЕБ) та їх зони дій (напрямки, рубежі), КП з бойовою обслугою.

Математична модель структури системи управління

$$W[E_y] = \{z_{jk}^y\},$$

де  $\bar{E}_y = |e_{1y}, e_{2y}, \dots, e_{gy}|$  – вектор елементів системи управління;  $e_{gy}$  – число (1 – при наявності  $g$ -го елемента в системі, 0 – навпаки) або функція належності від типів АСУ. Елементи системи управління – органи та пункти управління військових частин (КП, ЗКП, тиловий ПУ), відділення БУ з засобами управління (зв'язку й автоматизації та зони їх дій).

## Висновки

Таким чином, математична модель структури системи ППО синтезується з математичних моделей структури систем розвідки, зенітного ракетно-артилерійського прикриття, винищувального авіаційного прикриття, РЕБ, управління, забезпечення.

## Список літератури

1. Городнов В.П., Дробаха Г.А., Єрмошин М.О., Смирнов С.Б., Ткаченко В.І. *Моделювання бойових дій військ (сил) ППО та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): Монографія.* – Х.: ХВУ, 2004. – 409 с.:іл.
2. Торочин А.Я., Кириченко І.О., Єрмошин М.О., Дробаха Г.А., Долина М.П. *Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її ефективності: (теорія, практика, тенденції розвитку): Монографія.* – Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.:іл.
3. Єрмошин М.О., Кулешиов О.В. *Структура системи ЗРАП об'єктів і військ // Зб. наук. пр. ОНДІ ЗС.* – Х.: ОНДІ ЗС, 2006. – Вип. 2 (4). – С. 47–56.

Надійшла до редколегії 21.11.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.І. Карпенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.