

# Розвиток та застосування Повітряних Сил, удосконалення їх системи управління

УДК 001.57::[355.40: 623.4.025:623.618]

С.П. Ярош

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПОБУДОВА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗВІДУВАЛЬНО-УПРАВЛЯЮЧОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ППО

*В статті формулюється мета моделювання та з застосуванням структурно-функціонального підходу будується математична модель однієї зі складових перспективної системи протиповітряної оборони – інтегрованої розвідувально-управляючої інформаційної системи (РУІС). Формалізуються задачі аналізу та синтезу подібних систем.*

**Ключові слова:** розвідувально-управляюча інформаційна система, модель, параметри, структура, функціонування, аналіз, синтез, математична.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Існуюча тенденція впровадження мережецентричних концепцій в практику будівництва збройних сил високорозвинених країн світу свідчить про актуальність завдання пов'язаного з дослідженням можливостей інтегрованих систем. Організація та проведення подібних досліджень може відбуватися паралельно з прийняттям на озброєння подібних систем. Саме таким шляхом йдуть науковці в США, Великобританії, Росії, Китаї, Індії. Іншим варіантом дослідження інтегрованих систем майбутнього є суто теоретичні дослідження з використанням математичних моделей побудованих за схемами "чорних" або "сірих ящиків". Вивчення математичних моделей інтегрованих розвідувально-управляючих і бойових систем дозволяє проаналізувати характеристики об'єктів моделювання визначити їх сильні та слабкі сторони для організації ефективної протидії противнику з мережецентричною організацією збройних сил.

**Аналіз літератури.** Аналізу інтегрованих систем розвідки, управління та зв'язку, які використовуються для вирішення військових завдань присвячена велика кількість літератури. Для прикладу розглянемо деякі джерела [2 – 4].

Яскравим прикладом подачі матеріалу в виданнях США є джерело [4]. У даному джерелі, як і в більшості аналогічних, докладно наводиться порядок інтеграції різномірних військових систем в єдиному інформаційно-бойовому просторі, наводяться їх структури до та після подібної інтеграції, наголошується на підвищенні можливостей інтегрованих систем у порівнянні з існуючими. Але стиль подачі матеріалу декларативний і докази, які б спирались на результати моделювання або експлуатації подібних систем, не наводяться.

У [3] викладається точка зору на зміст, планування мережецентричних дій і побудову комплексів засобів автоматизації в автоматизованій системі управління військами (силами) в Російській Федерації. Але також поданий матеріал має дискусійний характер і ґрунтується на багатому досвіді авторів щодо спряження різномірних інформаційних систем на основі інформаційно-моделюючого середовища.

У [2] запропоновані принципи створення та організації функціонування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони, проведено оцінювання результуючого впливу інформаційної мережі на організацію управління силами та засобами ППО, проаналізований вигравш, що може бути отриманий внаслідок створення й використання розвідувально-управляючої інформаційної системи, у порівнянні з існуючою системою управління.

Розвідувально-управляючі системи є унікальними самодостатніми суб'єктами збройної боротьби майбутнього. В існуючій літературі недостатньо уваги приділено формалізації процесу побудови та функціонування подібних систем. Можливо це пов'язано зі специфікою галузі їх застосування та достатньо нетривалим часом їх існування.

**Мета статті** полягає в побудові структурно-функціональної математичної моделі розвідувально-управляючої інформаційної системи ППО.

### Основний матеріал

Існуюча система протиповітряної оборони включає підсистеми: розвідки і попередження про повітряного противника; зенітного ракетно-артилерійського прикриття (ЗРАП); винищувального авіаційного прикриття (ВАП); радіоелектронної боротьби (РЕБ); управління; всебічного забезпечення (ВЗ) (рис. 1, а).

Система ППО може будуватися військовими формуваннями Повітряних Сил ЗС України починаючи з повітряного командування відповідно до можливостей щодо формування відповідних складових підсистем.

Представимо розвідувально-управляючу інформаційну систему (рис. 1, б) у вигляді структурно-функціональної моделі. Для вирішення цього завдання скористаємося методологією викладеною в [1]. Відповідно з даною методологією будь-яка складна система, в тому числі й розвідувально-управляюча інформаційна система протиповітряної оборони, може бути представлена в такому вигляді (рис. 2).

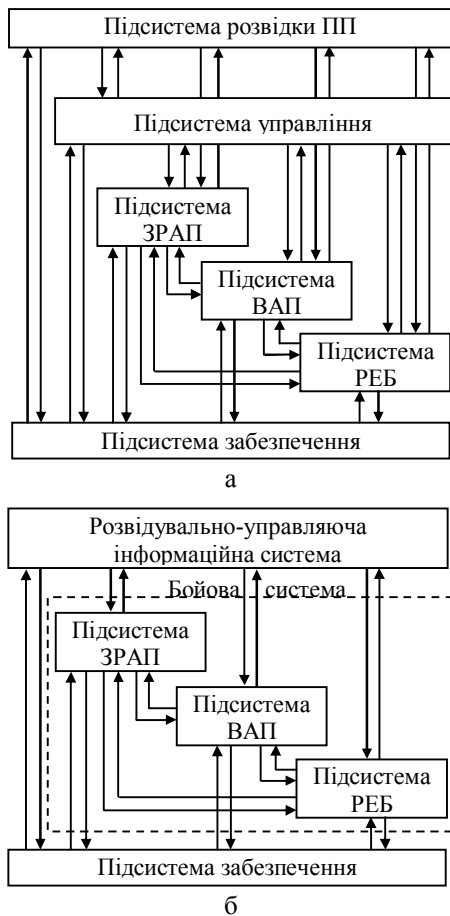


Рис. 1. Структура системи ППО:  
а – існуюча; б – перспективна

РУІС має набір параметрів, які характеризують її структуру – структурні параметри  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ . Основними елементами РУІС є засоби розвідки, засоби навігації, засоби управління бойовими системами (комплексами), об'єднані за допомогою засобів зв'язку та комутаційного обладнання в єдину інформаційну мережу. До структурних параметрів відносяться, наприклад, склад ( $s_1$ ) і координати ( $s_2$ ) засобів розвідки, склад ( $s_3$ ) наземних засобів навігаційних систем (управління, контролю, підвищення точності визначення місцеположення) та їх координати ( $s_4$ ), склад ( $s_5$ ) та координати ( $s_6$ ) засобів управління, склад ( $s_7$ ) та координати ( $s_8$ ) комутаційних центрів мережі. Крім

того, структура РУІС визначається видом зв'язку ( $s_9$ ), обраного для прив'язки її складових до мережі, розгалуженістю мережі ( $s_{10}$ ) та іншими параметрами.

Окрім структурних параметрів, РУІС визначається набором параметрів станів  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ , які визначають стан системи на даний момент часу. До параметрів станів системи відносяться такі параметри, як значення робочої частоти (літеру) ( $c_1$ ), висота підйому антени (польоту носіїв) засобів радіоелектронної розвідки ( $c_2$ ), режим роботи даних засобів ( $c_3$ ), структура цільового маршруту для передачі інформації по певній цілі ( $c_4$ ) [2], завантаженість каналів передачі даних ( $c_5$ ), робочі частоти засобів радіо, радіорелейного та космічного зв'язку ( $c_6$ ), потужність їх передавачів ( $c_7$ ), значення базової частоти навігаційної системи ( $c_8$ ) та ін.

Розглянемо більш детально входи системи. На перший з них подаються вхідні сигнали  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_p\}$ . До них відносяться сигнали від взаємодіючих РУІС (РУІС СВ ( $u_1$ ), РУІС авіації ( $u_2$ ), РУІС ВМС ( $u_3$ ) відповідного рівня), сигнали від центрів обробки інформації ( $u_4$ ), аналітичних центрів ( $u_5$ ) та ін. На другий вхід системи надходять зовнішні впливи  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_z\}$ . Ці впливи характеризуються такими параметрами: час доби ( $v_1$ ), пора року ( $v_2$ ), стан атмосфери ( $v_3$ ), характеристики місцевості ( $v_4$ ), склад ( $v_5$ ), координати ( $v_5$ ), тактико-технічні характеристики ( $v_6$ ) засобів розвідки противника, склад ( $v_7$ ), координати ( $v_8$ ), тактико-технічні характеристики ( $v_9$ ) засобів радіоелектронної боротьби противника, склад ( $v_{10}$ ), координати ( $v_{11}$ ), тактико-технічні характеристики ( $v_{12}$ ) засобів вогневого подавлення противника, склад ( $v_{12}$ ), координати ( $v_{13}$ ), тактико-технічні характеристики ( $v_{14}$ ) засобів повітряного нападу противника, склад ( $v_{15}$ ), координати ( $v_{16}$ ), тактико-технічні характеристики ( $v_{17}$ ) засобів протиповітряної оборони, взятих на управління розвідувально-управляючою інформаційною системою та ін. На третій вхід системи надходить управляючий вплив  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_d\}$ , під яким будемо розуміти команди управління. Залежно від необхідності команди управління можуть змінювати як структурні параметри  $S$ , так і параметри стану  $H$ .

Функціонування розвідувально-управляючої системи ППО характеризується деякою якістю, яка в теорії складних систем називається відкликом  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_g\}$  [1]. Відклик РУІС  $Y(U, V, X, S, C)$  на вхідні впливи є показником якості системи в умовах, що склалися. Відклик РУІС ППО може характеризуватися такими параметрами:

- достовірністю визначення типу ( $y_1$ ) та кількісного складу ( $y_2$ ) засобів повітряного нападу,
- часом проходження сигналів оповіщення ( $y_3$ ),
- часом вирішення задачі ціле-розподілу ( $y_4$ ),
- часом вирішення задачі цілевказання ( $y_5$ ),
- точністю вирішення задачі цілевказання ( $y_6$ ),
- стійкістю управління ( $y_7$ ),

ефективністю використання боєкомплектів вогневих засобів ППО ( $y_8$ ), вартістю ППО об'єктів і військ ( $y_9$ ) та ін.

Дамо формальне визначення математичної моделі РУІС ППО.

Нехай певна РУІС як об'єкт моделювання характеризується такою сукупністю параметрів:

– вхідних сигналів  $U^0 = \{u^0_1, u^0_2, \dots, u^0_p\}$ , які є підмножиною множини  $U(U^0 \in \Omega_U)$ ;

– впливів зовнішнього середовища  $V^0 = \{v^0_1, v^0_2, \dots, v^0_z\}$ , які є підмножиною множини  $V(V^0 \in \Omega_V)$ ;

– управляючих впливів  $X^0 = \{x^0_1, x^0_2, \dots, x^0_d\}$ , які є підмножиною множини  $X(X^0 \in \Omega_X)$ ;

– структури РУІС  $S^0 = \{s^0_1, s^0_2, \dots, s^0_n\}$ , які є підмножиною множини  $S(S^0 \in \Omega_S)$ ;

– стану РУІС  $C^0 = \{c^0_1, c^0_2, \dots, c^0_m\}$ , які є підмножиною множини  $C(C^0 \in \Omega_C)$ ;

– відклику системи  $Y^0 = \{y^0_1, y^0_2, \dots, y^0_g\}$ , які є підмножиною множини  $Y(Y^0 \in \Omega_Y)$ .

У ході функціонування РУІС відображає кожну множину  $U^0, V^0, X^0$  у множину  $Y^0$ . Тобто  $Y^0 = Q_{S^0, C^0}(U^0, V^0, X^0)$ , де  $Q_{S^0, C^0}$  – деякий оператор функціонування РУІС (рис. 3).

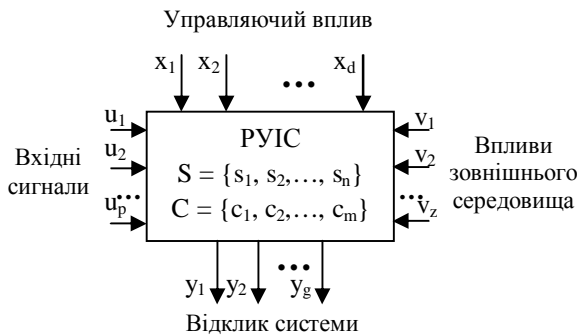


Рис. 2. Набір параметрів, що характеризують розвідувально-управляючу інформаційну систему

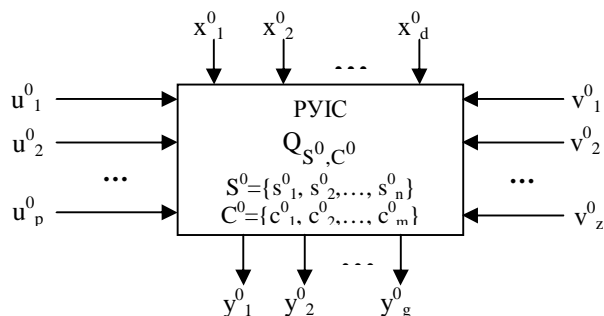


Рис. 3. Модель функціонування РУІС

Враховуючи рівень наявних знань про РУІС оператор  $Q$  може бути записаний лише приблизно. Іноді можуть бути невідомі деякі чи всі елементи множини  $S^0$  та  $C^0$ , що відображають структуру та стан РУІС. Невідомими також можуть бути деякі значення  $U^0, V^0, X^0$  і відповідні їм значення компонентів множини  $Y^0$ .

У загальному випадку елементи  $x^0_i, v^0_v, s^0_k, c^0_h, u^0_j$  можуть мати різну природу – бути кількісними чи якісними, функціями часу чи константами, детермінованими, стохастичними, невизначеними чи частково визначеними параметрами.

Сукупність вихідних характеристик, які характеризують відклик РУІС, є вектор-функцією часу  $t \in T$  або фазовою траєкторією. При цьому множина  $T$  може бути визначена як безперервна чи дискретна. Прямий добуток  $\Omega = \Omega_U \cdot \Omega_V \cdot \Omega_X$  утворює простір впливів, а множина  $\Omega_Y$  – простір відкликів РУІС. При кінцевому чи рахунковому  $\Omega_Y$  система функціонує в дискретному просторі. Можливо також розглядати множину  $T \cdot \Omega_Y$ , що утворює фазовий простір. При побудові математичної моделі РУІС, будемо формувати оператор  $Q_{S^0, C^0}$ , що лише наближено описує функціонування системи з більш простою структурою  $S^0 \in S, C^0 \in C$  відображаючи деяку цілком визначену підмножину впливів  $U^0 \in U, V^0 \in V, X^0 \in X$ , на цілком визначену підмножину відкликів  $Y^0 \in Y$ .

Загальною вимогою до елементів підмножин  $U^0, V^0, X^0$  є їхня взаємна незалежність, яка полягає в тому, що зміна одного елемента не впливає на значення інших. Вихідні характеристики моделі  $Y^0$  можуть бути залежними. Таким чином, математичною моделлю РУІС будемо називати оператор  $Q_{S^0, C^0}$ , що відображає множину незалежних перемінних  $\{U^0, V^0, X^0\}$  у множину залежних перемінних  $Y^0$ , тобто  $Y^0 = Q_{S^0, C^0}(U^0, V^0, X^0)$ .

Впливи  $U^0, V^0, X^0$ , що надходять на входи моделі РУІС, є в свою чергу вихідними параметрами спеціальних моделей – моделі вхідних сигналів, моделі зовнішнього середовища і моделі управління.

При цьому кожна з них може бути моделлю окремої складної системи.

Розробка математичної моделі РУІС припускає:

- 1) формальне представлення параметрів системи;
- 2) розробку моделі вхідних сигналів;
- 3) розробку моделей зовнішнього середовища (модель фізико-географічних умов, модель дій противника);
- 4) розробку моделі управління;
- 5) суміщення моделей і побудову загальної моделі складної системи.

При рішенні цих задач будуть використовуватися загальні принципи, однак кожна підмодель буде мати специфічні особливості, що впливають із властивостей об'єкта, моделювання якого буде проводитися. Цілями моделювання РУІС є:

- 1) вивчення властивостей системи;
- 2) аналіз ступеню досягнення системою своїх цілей функціонування (аналіз ефективності);
- 3) розробка пропозицій щодо вибору оптимальної структури і параметрів РУІС з метою досягнення бажаних результатів;

4) виявлення слабких місць в подібних системах з метою організації якісної протидії їм.

Конкретні цілі моделювання породжують ряд задач, що в майбутньому будуть вирішуватися з використанням розробленої математичної моделі РУІС. Ці задачі складають два великих класи – задачі аналізу і задачі синтезу. Задачі аналізу будуть полягати у вивченні структури, елементів, властивостей і поведінки РУІС у залежності від характеристик вхідних впливів і поведінки зовнішнього середовища. В деяких випадках задачі аналізу РУІС будуть зводитися до оцінки ефективності системи.

Нехай задано деякий функціонал

$$F(Y^0) = F(U^0, V^0, X^0, S^0, C^0),$$

що чисельно виражає мету функціонування РУІС, причому його значення досягає максимуму, якщо мета досягнута. Задача аналізу полягає в одержанні значення функціонала для цілком визначених  $U^0, V^0, X^0, S^0, C^0$  чи в одержанні вектора, чи деяких інших узагальнених характеристик (побудова графіків, таблиць тощо).

Задачі синтезу РУІС, у свою чергу, поділяються на два підкласи: синтез структури РУІС та синтез управління РУІС. При синтезі структури задаються вхідні впливи (чи їхня множина), впливи зовнішнього середовища і шукається набір внутрішніх параметрів  $S^0$  та  $C^0$ , що задовольняє цілком визначеним обмеженням і максимізує показник  $F$ . Частковим випадком задачі синтезу структури є задача ідентифікації моделі, що полягає в пошуку наборів  $S^0$  та  $C^0$ , які найбільшою мірою погоджується зі значеннями вхідних впливів  $U^0, V^0, X^0$ , що спостерігаються чи вимірюються, і відповідних їм вихідних параметрів  $Y^0$ . При синтезі управління шукається набір вхідних управляючих впливів  $X^0$  при фіксованих  $U^0, V^0, S^0, C^0$ , що максимізує  $F$  і задовольняє обмеженням, обумовленим можливістю реалізації управління  $X^0$ .

У загальному вигляді задачі аналізу і синтезу РУІС можуть бути сформульовані в такий спосіб.

**Аналіз РУІС:** Дано  $U^0, V^0, S^0, C^0, X^0$ . Знайти  $Y^0, F(Y^0)$ .

**Синтез структури РУІС:** Дано  $X^0, V^0, U^0$ . Знайти набір  $S^{0*}$  і  $C^{0*}$ , що максимізує  $F\{Q_{S^0, C^0}(U^0, V^0, X^0)\}$  за умови  $S^0 \in \Omega_S, C^0 \in \Omega_C$ , де  $\Omega_S$  – множина допустимих структур РУІС;  $\Omega_C$  – множина допустимих станів РУІС.

**Синтез управління РУІС:** Дано:  $U^0, V^0, S^0, C^0$ . Знайти  $X^{0*}$ , що максимізує  $F\{Q_{S^0, C^0}(U^0, V^0, X^0)\}$  за умови  $X^0 \in \Omega_X$ , де  $\Omega_X$  – множина допустимих управлень РУІС.

## Висновки

Таким чином, в статті побудована укрупнена структурно-функціональна математична модель розвідувально-управляючої інформаційної системи ППО, описані параметри, які характеризують її функціонування. Подальші дослідження будуть спрямовані на формулювання і обґрунтування показників якості функціонування РУІС і розробку методики оцінки обраних показників.

## Список літератури

1. Кириченко И.О. Моделирование вооружения зенитных ракетных войск. Ч. 1. Аналитические модели анализа процессов конфликтной природы / И.О. Кириченко. – Х.: ВИРТА ПВО, 1990. – 197 с.
2. Кириченко И. О. Принципы творения та організації функціонування розвідувально-управляючих інформаційних систем ППО / І. О. Кириченко, С. П. Ярош // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2011. – № 1 (5). – С. 28–36.
3. Ляпин В.Р. О построении комплексов средств автоматизации в АСУ войсками (силами) для ведения сетевых действий / В.Р. Ляпин, В.Н. Зимин, В.В. Барвиненко // Военная мысль. – М.: МО РФ, 2011. – № 12. – С. 54–61.
4. C4ISR Architecture Framework. Version 2.0. – DoD USA: C4ISR Architectures Working Group, 18 December 1997. – 239 p.

Надійшла до редколегії 23.01.2012

**Рецензент:** д-р військ. наук проф. Г.А. Дробаха, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПВО

С.П. Ярош

*В статье формулируется цель моделирования и с применением структурно-функционального подхода строится математическая модель одной из составляющих перспективной системы противовоздушной обороны – интегрированной разведывательно-управляющей информационной системы (РУИС). Формализуются задачи анализа и синтеза подобных систем.*

**Ключевые слова:** разведывательно-управляющая информационная система, модель, параметры, структура, функционирование, анализ, синтез, математическая.

## CONSTRUCTION OF STRUCTURALLY FUNCTIONAL MATHEMATICAL MODEL RECONNAISSANCE-CONTROLLING INFORMATION SYSTEM OF AIR DEFENCE

S.P. Yarosh

*In article the purpose of modelling is formulated and with application of the structurally functional approach the mathematical model of one of components of perspective system of antiaircraft defence – integrated reconnaissance-controlling information system (RCIS) is under construction. Problems of the analysis and synthesis of similar systems are formalized.*

**Keywords:** reconnaissance-controlling information system, model, parameters, structure, functioning, the analysis, synthesis, mathematical.