

УДК 629.7:621.396

Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко, І.А. Нос, А.І. Резніченко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРСПЕКТИВНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ СТРІЛЬБ ЗЕНІТНИМИ РАКЕТНИМИ СИСТЕМАМИ (КОМПЛЕКСАМИ) НА ПОЛІГОНІ ОБМЕЖЕНИХ РОЗМІРІВ

Розглядається варіант створення автоматичної системи контролю безпеки проведення стрільб керованими ракетами на полігоні обмежених розмірів шляхом використання радіолокаційної інформації просторово рознесеної багатопозиційної активно-пасивної системи виявлення. З метою отримання інформації про аеродинамічні цілі за рахунок використання існуючого на полігоні радіолокаційного поля і використання алгоритму аналізу обстановки та прийняття рішення про ступінь безпеки стрільби керованими ракетами та прийняття рішення на безпечне знешкодження ракети при нештатній ситуації.

Ключові слова: радіолокаційна станція (РЛС), багатопозиційна радіолокаційна система (БП РЛС), виявлення цілей, вимірювання координат, визначення повного вектора швидкості аеродинамічних цілей, контроль за рухом мішені і зенітної керованої ракети (ЗКР), прийняття рішення про ступінь безпеки проведення ракетної стрільби.

Вступ

Загальна постановка проблеми, аналіз останніх досягнень та публікацій. При проведенні бойових та дослідницьких стрільб зенітними ракетними системами (комплексами) ЗРС (ЗРК) на полігонах обмежених розмірів актуальним є питання забезпечення гарантованої безпеки стрільб. Для цього доцільним є застосування комплексної автоматичної системи контролю безпеки стрільб. Можливі альтернативні варіанти побудови такої системи.

Відомо, що при виконанні стрільб на полігоні «Чауда» в наслідок відсутності автоматичної системи контролю за безпекою ракетних стрільб сталася трагедія – ракета взяла на супровід пасажирський літак, що знаходився на одному азимуті з мішенню. Складність достовірно оцінити ступінь небезпеки ситуації і прийняти правильне рішення на коротких інтервалах часу викликає необхідність розробки автоматичної системи забезпечення прийняття рішення на виконання необхідних заходів безпеки і виключення позаштатних ситуацій з гарантованою ймовірністю [1 – 3].

Мета статті – розробка варіанту математичного апарату для оцінки ефективності роботи автоматичної системи контролю безпечного проведення ракетних стрільб на полігонах співвимірних (або менших) дальності застосування зенітних керованих ракет (ЗКР).

Постановка задачі та виклад матеріалів дослідження

Основний задум створення автоматичної системи контролю безпечного проведення стрільб зенітними ракетними комплексами на полігоні обмежених розмірів включає виявлення і розпізнавання

позаштатних ситуацій при виконанні стрільб по аеродинамічних мішенях з заданою ймовірністю.

Загальна структура процесу автоматичного контролю за станом стрільби керованою ракетною по малорозмірній мішені при вимірюванні тільки їх координат подана на рис. 1.

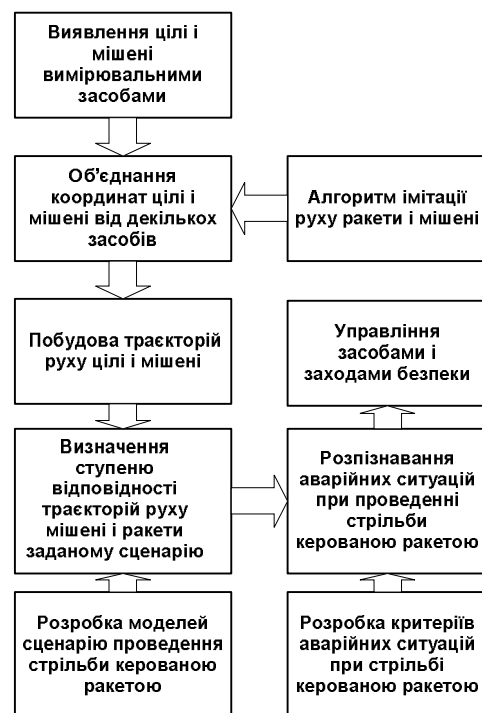


Рис. 1. Загальна структура процесу автоматичного контролю за станом стрільби керованою ракетною при вимірюванні координат ракети і мішені

Основне завдання автоматичної системи контролю безпечного проведення стрільб зенітними ракетними комплексами на полігоні обмежених розмірів – контроль за поведінкою ракети і мішені за допомо-

гою приймально-вимірювальних засобів, що знаходяться на полігоні, передачу інформації виявлення на командний пункт полігона у заданому форматі для автоматичної обробки і аналізу координатної інформації про просторове положення ЗКР і мішені шляхом порівняння з заданою моделлю сценарію проведення стрільб, визначення ступеню відхилення обстановки від сценарію, розпізнавання позаштатних ситуацій і прийняття рішення на застосування засобів попередження або усунення аварійної ситуації.

Оскільки контроль обстановки здійснюється з темпом рівним циклу огляду простору кожним засобом, то система має працювати у відповідності з заданим темпом оновлення інформації і попередити аварійну ситуацію за час польоту ракети в реальному масштабі часу. Важливим при розпізнаванні аварійної ситуації є можливість її плинної класифікації при отриманні мінімальної кількості опорних точок при вимірюванні координат як ЗКР, так і мішені. Можливість визначення повного вектора швидкості цілі моноімпульсним способом за допомогою БПС [5] дозволить по кожному вимірюванню оцінювати напрямок руху цілі і здійснювати більш достовірну плинну класифікацію ступеню безпеки траєкторії руху в першу чергу ЗКР і корегувати траєкторію руху мішені.

Загальна структура процесу автоматичного контролю за станом стрільби керованою ракетою по мішені при вимірюванні координат і повного вектора швидкості ракети і мішені подана на рис. 2.

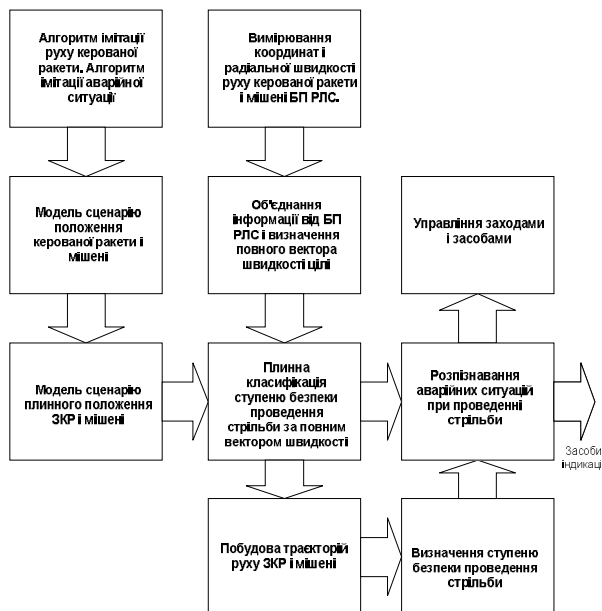


Рис. 2. Загальна структура процесу автоматичного контролю за станом стрільби керованою ракетою при вимірюванні координат і повного вектора швидкості ракети і мішені

Позаштатні ситуації при виконанні стрільб ЗРС (ЗРК) діляться на:

самочинний старт ракети з пускової установки з подальшим довільним напрямком руху;

відхилення напрямку польоту ракети до цілі внаслідок технічних неполадок;

промах по мішені внаслідок неполадок в системі управління підривом бойової частини;

перенацілювання ракети на ціль з більшою ефективною відбиваючою поверхнею;

відхилення польоту мішені від заданого маршруту.

Для вирішення завдання автоматичного розпізнавання позаштатних ситуацій необхідно сформулювати відрізняльні ознаки розглянутих класів позаштатних ситуацій і відповідних заходів їх усунення.

Визначення повного вектора швидкості цілі моноімпульсним способом дозволить по першому ж вимірюванню виявити позаштатну ситуацію і призначити необхідні першочергові заходи по її усуненні з мінімальним ризиком.

Загальна структура автоматичної системи контролю безпеки стрільб ЗРС (ЗРК) на полігоні обмежених розмірів показана на рис. 3.



Рис. 3. Загальна структура автоматичної системи контролю безпеки стрільб ЗРС (ЗРК) на полігоні обмежених розмірів

Для оцінки ефективності автоматичної системи контролю безпеки стрільб ЗРС (ЗРК) на полігоні обмежених розмірів використаємо методику апроксимації процесу виконання завдання системою марківськими неоднорідними ланцюгами, що дозволить знайти математичну залежність узагальненого показника якості функціонування складної системи з метою найбільш повного опису його залежності від показників якості виконання окремих технічних операцій, що забезпечують вирішення завдань, покладених на систему.

Виконання основного завдання автоматичною системою контролю безпеки стрільб ЗРС (ЗРК) на полігоні обмежених розмірів закінчується прийняттям одного з рішень: спостерігається чи не спостерігається в зоні дії приймально-вимірювальних засобів полігона відхилення рухів зенітної керованої ракети і мішені від заданого сценарію і автоматичного прийняття рішень або видачу рекомендацій, або команд на усунення відхилень. Оскільки вся послідовність операцій, що визначає призначення системи, залежить від наявності відбитих сигналів від керованої ракети і мішені на інтервалі спостере-

ження, виявлення якого в вимірювальних засобах носить випадковий характер, то і виконання завдання всією системою є випадковим процесом.

Основним (узагальненим) показником якості функціонування системи за призначенням може бути можливість виконання завдання, що залежить від можливості виконання кожної необхідної при цьому технічної операції [4, 6].

Оскільки процес виконання завдання автоматичною системою контролю безпеки стрільб ЗРС (ЗРК) на полігоні обмежених розмірів у часі по ракеті і мішені послідовний і кожна наступна операція відбувається після завершення попередньої, то в якості моделі реального процесу функціонування системи доцільно вибрати випадковий неоднорідний ланцюг Маркова, що характеризується матрицею однокрокових перехідних ймовірностей π , яка визначає умовні ймовірності переходу від i -ої до $i+1$ операції і матрицею початкових станів ланцюга Маркова π_0 (рис. 4).

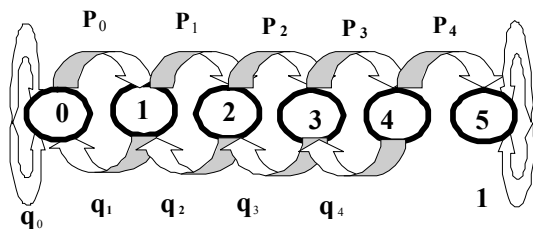


Рис. 4. Граф марківського ланцюга процесу автоматичної системи контролю безпеки стрільб ЗРС (ЗРК) на полігоні обмежених розмірів

На рис.4 позначено:

0 – стан ланцюга Маркова, що відповідає процесу виявлення ЗКР та мішені;

P_0 – умовна ймовірність переходу системи в режим супроводження ЗКР та мішені, що є ймовірністю прийняття рішення про виявлення ЗКР та мішені;

$$q_0 = 1 - P_0;$$

1 – стан ланцюга Маркова, що відповідає режиму супроводження ЗКР та мішені;

P_1 – умовна ймовірність переходу системи в режим побудови траєкторій руху об'єктів контролю, що є ймовірністю прийняття рішення про можливість побудови траєкторії руху ЗКР та мішені;

$$q_1 = 1 - P_1;$$

2 – стан ланцюга Маркова, що відповідає режиму побудови траєкторії польоту ЗКР та мішені;

P_2 – умовна ймовірність переходу системи в режим розпізнавання відповідності траєкторій руху ЗКР та мішені заданому сценарію проведення стрільби;

$$q_2 = 1 - P_2;$$

3 – стан ланцюга Маркова, що відповідає режиму розпізнавання відповідності траєкторії руху ЗКР та мішені заданому сценарію проведення стрільби;

P_3 – умовна ймовірність переходу системи в стан аналізу ступеню небезпеки траєкторій ЗКР та

мішені, що є безумовною ймовірністю прийняття рішення про безпечність чи небезпечність стрільби. Безумовна ймовірність визначається шляхом перевірки попадання оцінених значень параметрів траєкторій руху до визначеного довірчого інтервалу заданих безпечних траєкторій руху ЗКР і мішені. При будь-якому рішенні умовна ймовірність переходу до наступного стану визначається довірчою ймовірністю.

$$q_3 = 1 - P_3;$$

4 – стан ланцюга Маркова, що відповідає аналізу ступеню небезпеки траєкторій ЗКР та мішені;

P_4 – умовна ймовірність переходу системи до стану прийняття рішення про використання заходів усунення небезпечного стану стрільби і є безумовною ймовірністю прийняття рішення про ступінь небезпеки стрільби. Безумовна ймовірність прийняття рішення визначається як якість перевірки статистичних гіпотез виходячи із байєсівського критерію оптимальності прийняття рішення, що дозволяє відносити контрольну вибірку вимірювань $x_n = x_i, i = 1, 2, \dots, n$ до одного із взаємовиключаючих класів виміряних траєкторій з урахуванням апріорної інформації і даних навчання. Виходячи із даної теорії всі вирішуючі правила для $K \geq 2$ класів засновані на порівнянні відношення правдоподібності

$$L = \frac{W(x_1, x_2, \dots, x_n / s_k)}{W(x_1, x_2, \dots, x_n / s_1)}, k = 2, 3, \dots, K$$

між собою або з визначеними порогами. Величини $W(x_1, x_2, \dots, x_n / s_k)$ – n -вимірні щільності ймовірностей, у яких аргументи-вектори x рівні вимірним значенням.

$$q_4 = 1 - P_4;$$

5 – стан ланцюга Маркова, що відповідає прийняттю рішення на виконання заходів усунення небезпечного стану стрільби.

Однокрокова матриця перехідних ймовірностей для графа рис. 3 має вигляд:

$$\pi = \begin{pmatrix} q_0 & P_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ q_1 & 0 & P_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & P_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 & P_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 & 0 & P_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Матриця безумовних ймовірностей перебування ланцюга Маркова $\pi(n)$ в станах $0 \dots 5$ на n -му кроці визначається виразом

$$\pi(n) = \pi(n-1)\pi_0,$$

де π_0 – матриця початкових станів марківського ланцюга, $\pi(n-1)$ – стан матриці перехідних ймовірностей на попередньому кроці.

Рекурентні вирази для обчислення безумовних ймовірностей перебування системи в заданих режимах роботи на n -му кроці роботи у випадку апроксимації процесу бойового функціонування неоднорідним марківським ланцюгом мають вигляд:

$$P_0(n) = q_0 \cdot P_0(n-1) + q_0 \cdot P_1(n-1);$$

$$P_1(n) = P_0 \cdot P_0(n-1) + q_2 \cdot P_2(n-1);$$

$$P_2(n) = P_1 \cdot P_0(n-1) + q_3 \cdot P_3(n-1);$$

$$P_3(n) = P_2 \cdot P_2(n-1) + q_4 \cdot P_4(n-1);$$

$$P_4(n) = P_3 \cdot P_3(n-1);$$

$$P_5(n) = P_4 \cdot P_4(n-1) + P_5(n-1),$$

де $P_i(n)$ – безумовна ймовірність перебування РЛС на n -му кроці функціонування в i -му стані.

Матриця початкових станів π_0 визначається виходячи з фізичного сенсу процесу функціонування, тобто система не може знаходитися на нульовому кроці в будь-якому i -му стані, не отримавши інформації початкового кроку:

$$\pi_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Залежність безумовної ймовірності виконання завдання системою за призначенням $P_{завд}$ при мінімальній кількості кроків:

$$P_{завд} = P_0 P_1 P_2 P_3 P_4$$

Аналогічний марківський ланцюг характеризує і процес контролю за поведінкою мішені.

Урахування радіоелектронних впливів на функціонування системи можливо досягнути шляхом розгляду умовної ймовірності правильного виявлення радіосигналів в приймальних пунктах перспективної багатопозиційної системи (БПС) зовнішньо траекторних вимірювань або у штатних полігонних засобах вимірювань в залежності від відношення сигнал/(шум + перешкода) q для найгірших моделей амплітудних флуктуацій при заданих варіантах підсвічення ЗКР та мішені.

Апроксимація процесу функціонування системи марківським ланцюгом, що подана на рис. 4, є адекватною реальному процесу в тому випадку, коли процеси виявлення, супроводу, побудови траєкторії руху ЗКР та мішені - однокрокові. Якщо реальні процеси виявлення, супроводу, побудови траєкторії - багато крокові і реалізують правила прийняття рішення l із m або m із m , то марківська модель процесу бойового функціонування системи стає значно складнішою і розгалуженою. Тоді кожний стан графа рис. 4 теж може бути поданий марківським ланцюгом і перехідна ймовірність з одного стану в інший є ймовірністю виконання критеріїв при мінімальній кількості циклів роботи вимірювальних засобів.

При послідовному у часі виявленні за правилом «2 із 3» ціль вважається виявленою, якщо в двох

циклах роботи вимірювального засобу із трьох отриманий відбитий від неї сигнал. Граф алгоритму прийняття рішення про виявлення ЗКР та мішені при виконанні правила «2 із 3» наведений на рис. 5.

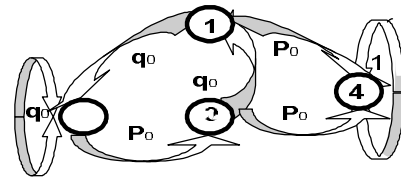


Рис. 5. Граф алгоритму виявлення цілі при використанні правила «2 із 3»

Матриця однокрокових перехідних ймовірностей для графа рис. 5 має вигляд

$$\pi_B = \begin{bmatrix} q_0 & 0 & P_0 & 0 \\ q_0 & 0 & 0 & P_0 \\ 0 & 0 & 0 & P_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Графіки залежності безумовних ймовірностей ухвалення рішення про виявлення цілі $P = P_0^2 (2q_0 + 1)$ при виконанні правила «2 із 3» і $P = P_0^3 (3q_0 + 1)$ при виконанні правила «3 із 4» від умовної ймовірності правильного виявлення поданий на рис. 6.

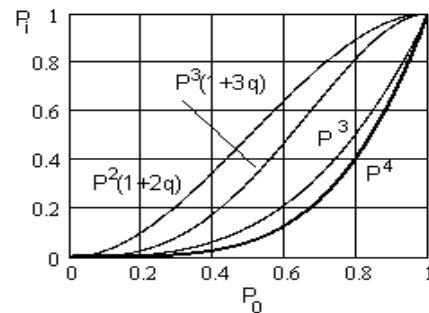


Рис. 6. Залежність безумовних ймовірностей виявлення цілі при виконанні правил «2 із 3», «3 із 4», «3 із 3», «4 із 4» від умовної ймовірності правильного виявлення

В багатопозиційній системі, де визначається моноімпульсно повний вектор швидкості цілі і необхідна інформація одночасно від трьох пунктів, даний критерій не підходить. Для даної ситуації необхідне правило «3 із 3». Граф алгоритму виявлення цілі при використанні правила «3 із 3» наведений на рис. 7.

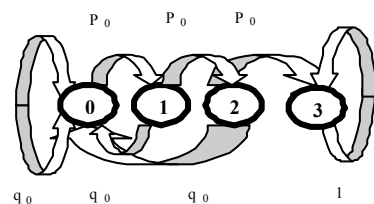


Рис. 7. Граф алгоритму виявлення цілі при використанні правила «3 із 3»

Матриця однокрокових перехідних ймовірностей для графа рис. 7 має вигляд

$$\pi_B = \begin{pmatrix} q_0 & P_0 & 0 & 0 \\ q_0 & 0 & P_0 & 0 \\ q_0 & 0 & 0 & P_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Залежність безумовної ймовірності ухвалення рішення про виявлення цілі у режимі виявлення від умовної ймовірності правильного виявлення при використанні правила «3 із 3» визначається виразом $P_B = P_0^3$. Графік функції поданий на рис. 6.

Для прийняття рішення про супроводження цілі в автоматичних РЛС використовується правило «4 із 4». Якщо в чотирьох вимірах буде виявлений сигнал, то приймається рішення про супровід цілі. Граф алгоритму прийняття рішення про супроводження ЗКР та мішені наведений на рис. 8.

Однокрокова матриця перехідних ймовірностей для графа рис. 8; має вигляд:

$$\pi_c = \begin{pmatrix} q_0 & P_0 & 0 & 0 & 0 \\ q_0 & 0 & P_0 & 0 & 0 \\ q_0 & 0 & 0 & P_0 & 0 \\ q_0 & 0 & 0 & 0 & P_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

де P_0 – умовна ймовірність правильного виявлення сигналу від цілі в режимі супроводу.

Графік залежності $P_1 = P_0^4$ від умовної ймовірності правильного виявлення P_0 сигналів від цілі в режимі супроводу поданий на рис. 6.

Граф процесу побудови траєкторії при використанні критерію прийняття рішення на скидання траєкторії з супроводу при пропусканні чотирьох сигналів в чотирьох циклах роботи системи подано на рис. 9. Однокрокова матриця перехідних ймовірностей має вигляд:

$$\pi_T = \begin{pmatrix} P_0 & q_0 & 0 & 0 & 0 \\ P_0 & 0 & q_0 & 0 & 0 \\ P_0 & 0 & 0 & q_0 & 0 \\ P_0 & 0 & 0 & 0 & q_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Рекурентні вирази для визначення безумовних ймовірностей перебування ланцюга Маркова в станах 0...4 на будь-якому кроці супроводу траєкторії мають вигляд:

$$\begin{aligned} P_0(n) &= p_0 P_0(n-1) + p_0 P_1(n-1) + \\ &+ p_0 P_2(n-1) + p_0 P_3(n-1); \\ P_1(n) &= q_0 P_0(n-1); \quad P_2(n) = q_0 P_1(n-1); \\ P_3(n) &= q_0 P_2(n-1); \\ P_4(n) &= q_0 P_3(n-1) + P_4(n-1). \end{aligned}$$

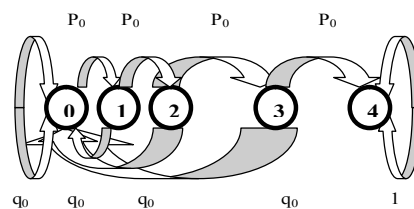


Рис. 8. Граф алгоритму передачі ЗКР та мішені на супровід в БПС для побудови траєкторії за правилом «4 із 4»

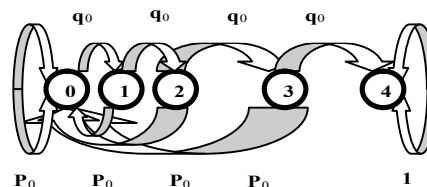


Рис. 9. Граф процесу побудови траєкторії при використанні правила прийняття рішення на скидання траєкторії з супроводу при пропусканні чотирьох сигналів в чотирьох циклах роботи БПС

Залежність безумовної ймовірності передачі траєкторії до стану класифікації в сьомому і десятому циклах роботи системи $P(7)$ і $P(10)$ від умовної ймовірності правильного виявлення цілі P_0 в режимі супроводу наведена на рис. 10:

$$\begin{aligned} P(7) &= (1 + P_0 q_0 + 2P_0 q_0^2 + 3P_0 q_0^3); \\ P(10) &= P_0^3 (1 + 2q_0 + 3q_0^2 + 4q_0^3 P_0 + 3q_0^4 P_0 + q_0^5 P_0 + q_0^6 P_0). \end{aligned}$$

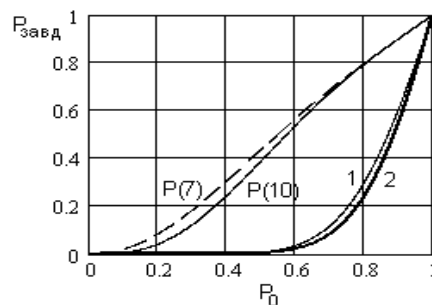


Рис. 10. Залежність безумовної ймовірності виконання завдання системою $P_{завд}$ при рівних значеннях умовних ймовірностей правильного виявлення в режимах виявлення P_0 при використанні правил «3 із 3» (1) і «4 із 4» (2) при довірчих ймовірностях прийняття рішень для 7 і 10 опорних точок траєкторії

У відповідність із значеннями умовних ймовірностей правильного виявлення, передачі на супровід, супроводу, побудови траєкторії на рис.10 подана залежність ймовірності виконання завдання системою при умові, що ймовірність переходу системи до стану аналізу ступеню небезпеки траєкторій ЗКР та мішені визначається довірчою ймовірністю. Крім того умовна ймовірність переходу системи до стану прийняття рішення про використання заходів усунен-

ня небезпечного стану стрільби і є безумовною ймовірністю прийняття рішення про ступінь небезпеки стрільби і також визначається довірчою ймовірністю прийняття рішення.

Із аналізу рис.10 для вибраних правил виявлення цілей видно, щоб досягнути гарантованої ймовірності виконання завдання системою за призначенням необхідне високе значення умовної ймовірності правильного виявлення.

Процес виявлення цілей в прийнятно-вимірювальних пунктах багатопозиційної системи можливо покращити за рахунок одночасного використання їх в системі. При одночасному використанні декількох засобів виявлення ЗКР та мішені ймовірність її виявлення в системі P_0 визначається виразом:

$$P_0 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i),$$

де P_i – умовна ймовірність правильного виявлення цілі i -им вимірювальним засобом. Графік залежності безумовної ймовірності виявлення цілі системою від кількості незалежних вимірювальних засобів n при умовній ймовірності правильного виявлення цілі $P_i = 0,5$ наведений на рис. 11.

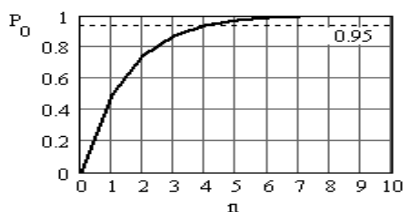


Рис. 11. Графік залежності безумовної ймовірності виявлення цілі P_0 системою n незалежних вимірювальних засобів при умовній ймовірності правильного виявлення $P_i = 0,5$

Із рис. 11 видно, що для забезпечення заданої ймовірності виявлення цілі $P_0 = 0,95$ при $P_i = 0,5$ необхідно і достатньо використовувати об'єднання інформації одночасно від чотирьох вимірювальних засобів.

Запропонована методика оцінки ефективності функціонування автоматичної системи контролю безпеки стрільб керованими ракетами на полігонах співвимірних (або менших) дальності застосування зенітних ракет на основі апроксимації марківськими неоднорідними ланцюгами з урахуванням радіоелектронних впливів дозволяє визначити ступінь впливу на безумовну ймовірність виконання завдання системою ряду факторів в тому числі і радіоперешкод.

Для синтезу автоматичної системи гарантованої безпеки стрільб зенітними керованими ракетами на полігоні обмежених розмірів може бути використана запропонована методика оцінки ефективності процесу виконання завдання за призначенням шляхом пошуку такої технічної структури, щоб узагальнений показник марківського ланцюга був не мен-

ший заданого.

Запропонована модель автоматичної системи безпеки стрільб ЗРС (ЗПК) на полігоні обмежених розмірів підлягає перевірці на адекватність реальним фізичним процесам в системі і дослідженню умов обмеження при практичному застосуванні.

Висновок

Апроксимація процесу функціонування автоматичної системи контролю безпеки стрільб ЗРС (ЗПК) на полігонах співвимірних (або менших) дальності застосування зенітних ракет марківським неоднорідним ланцюгом дозволяє установити взаємозв'язок окремих показників функціонування системи й узагальненого показника - ймовірності виконання завдання за призначенням і забезпечити вибір такої технічної структури системи, щоб вона відповідала заданим вимогам. Узагальнений показник якості в кінцевому рахунку виражений через умовні ймовірності правильного виявлення цілі в режимах виявлення, супроводу, побудови траєкторії, що залежать від стану середовища розповсюдження радіохвиль і радіоелектронного впливу на систему і дозволяє досліджувати стійкість системи в змінних умовах розповсюдження радіохвиль і радіоелектронного впливу.

Список літератури

1. Бархударян М.В. Принципи побудови перспективного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу як елемента системи випробувань озброєння та військової техніки / М.В. Бархударян, К.К. Кулагін, Б.О. Чулак // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НІУ, 2008. – № 2 (6). – С. 55-59.
2. Бархударян М.В. Вибір показників достовірності траєкторного контролю руху літальних апаратів / М.В. Бархударян, К.К. Кулагін, Б.О. Чулак // Наука і техніка Повітряних Сил. – 2009. – № 2 (2). – С. 79-82.
3. Бархударян М.В. Розробка і наукове обґрунтування методологічних принципів побудови раціональної системи полігонних випробувань / М.В. Бархударян, К.К. Кулагін, І.А. Нос, Б.О. Чулак // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2009. – № 2 (18). – С. 52-54.
4. Кузьмін С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмін. – К.: Изд-во «КВІЦ», 2000. – 428 с.
5. Певцов Г.В. Развитие теоретических основ построения багатопозиційних радіолокаційних систем для оцінки вектора швидкості цілі моноімпульсним методом / Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов // Сборник научных трудов. 3-го Международного радиоэлектронного форума (МРФ 2008). – Х., 2008. – С. 305-311.
6. Яцуценко А.Я. Оцінка ефективності функціонування автоматичних РЛС дальнього виявлення на основі апроксимації марківськими неоднорідними ланцюгами з урахуванням радіоелектронних впливів / А.Я. Яцуценко // Зб. наук. пр. Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х., 2005. – Вип. 2(2). – С.142-152.

Надійшла до редколегії 24.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
БЕЗОПАСНОСТИ СТРЕЛЬБ ЗЕНИТНЫМИ РАКЕТНЫМИ СИСТЕМАМИ (КОМПЛЕКСАМИ)
НА ПОЛИГОНЕ ОГРАНИЧЕННЫХ РАЗМЕРОВ**

Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко, И.А. Нос, А.И. Резниченко

Рассматривается вариант создания автоматической системы контроля безопасности проведения стрельб управляемыми ракетами на полигоне ограниченных размеров путем использования радиолокационной информации пространственно разнесенной многопозиционной активно-пассивной системы обнаружения для получения информации об аэродинамических целях за счет использования существующего на полигоне радиолокационного поля и использования алгоритма анализа радиолокационной обстановки и принятия решения о степени безопасности стрельбы управляемыми ракетами и принятие решения на безопасное обезвреживание ракеты при нештатной ситуации.

Ключевые слова: радиолокационная станция, многопозиционная радиолокационная система, выявление целей, измерение координат, определение полного вектора скорости аэродинамических целей, контроль, за движением мишени и зенитной управляемой ракеты, принятие решения о степени безопасности проведения ракетной стрельбы.

**EFFICIENCY EVALUATION OF A FUTURE-TECHNOLOGY AUTOMATIC SAFETY CONTROL SYSTEM PROVIDED
FIRING WITH ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEMS (COMPLEXES) ON A GROUND WITH LIMITED EXTENT**

G.V. Pevtsov, A.Ya. Yacucenko, I.A. Nos, A.I. Reznichenko

A variant of an automatic safety control system provided firing with guided missiles on a ground with limited extent is considered. The system implies using radar information received by a spaced multiposition active-passive detection system. Information about aerodynamic targets is received by means of using the radar field, present at the ground, and a radar situation analysis algorithm. As a result of the analysis decisions on the guided missiles firing safety degree and the missile secure neutralization in case of worst-case situation are made.

Keywords: radio-location station, multiposition radio-location system, exposure of aims, measuring of co-ordinates, determination of complete vector of speed of aerodynamic aims, control, after motion of target and zenithal guided rocket, decision-making about a degree safety of leadthrough of the rocket firing.