

УДК 621.396.933.4

Б.Б. Поспелов, В.І. Дода, О.Б. Куренко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ЙМОВІРНІСНО-ЧАСОВИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ЛІНІЙ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ

У статті здійснюється розробка підходу та методу оцінки якості функціонування авіаційних ліній інформаційного обміну, який враховує динамічні можливості систем радіотехнічної розвідки та РЕП в процесі всього польоту, або окремих інтервалів часу виконання бойових задач на основі ймовірнісно-часового підходу з використанням марковської моделі. На основі використання ймовірнісно-часового підходу та марковської моделі, щодо зміни станів системи інформаційного обміну, запропонований метод оцінки якості інформаційного обміну, який на відміну від відомих дозволяє враховувати динаміку РЕП та її вплив на показники якості інформаційного обміну.

Ключові слова: авіаційні системи інформаційного обміну, система інформаційної взаємодії, радіоелектронна протидія, літальний апарат.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні авіаційні системи інформаційного обміну функціонують як правило в умовах комплексної дії ненавмисних і навмисних завад, що створюються системами радіоелектронної протидії [1 – 3]. Проблема забезпечення ефективного функціонування авіаційних систем інформаційного обміну (ІО) в умовах радіотехнічної розвідки та радіоелектронної протидії (РЕП) є важливою, якщо не самою важливішою. Ефективність функціонування авіаційних систем інформаційного обміну характеризує їх здатність виконувати поставлені задачі в заданих умовах [4, 5], яка залежить від багатьох факторів: живучості, надійності, завадозахищеності та інших. Як свідчить досвід локальних війн та збройних конфліктів останніх років, використання авіаційних системи ІО здійснюється на протязі всього польоту літального апарату (ЛА), від злету до визначеного місця виконання бойового завдання в умовах РЕП різної інтенсивності.

Аналіз літератури

Аналіз літератури свідчить про те, що оцінка якості функціонування ліній інформаційного обміну (ЛІО) традиційно здійснюється без урахування динаміки інтенсивності дії систем радіотехнічної розвідки та РЕП. Так, розглянуті в [5], системи показників є осередненими за великий інтервал часу і не дозволяють оцінювати якість функціонування каналів ІО з урахуванням динаміки дії систем радіотехнічної розвідки та РЕП. При цьому розв'язання багатьох сучасних науково-практичних задач, пов'язаних з проблемою підвищення ефективності та перешкодозахищеності авіаційних систем ІО потребують визначення якості функціонування систем з урахуванням динаміки систем радіотехнічної розвідки та РЕП. У зв'язку із

цим виникає необхідність в розвитку підходів та методу оцінки якості функціонування авіаційних ЛІО з урахуванням динамічних можливостей систем радіотехнічної розвідки та РЕП.

Мета статті – розробка підходу та методу оцінки якості функціонування авіаційних ЛІО, які дозволяють враховувати динамічні можливості систем радіотехнічної розвідки та РЕП в процесі всього польоту, або окремих інтервалів часу виконання бойових задач на основі ймовірнісно-часового підходу з використанням марковської моделі, яка описує відповідну динаміку зміни станів системи ІО.

Викладання основного матеріалу

Структура типової системи інформаційної взаємодії (СІВ) між двома джерелами ІО з урахуванням її РЕП може бути представлена у вигляді, зображеному на рис. 1.

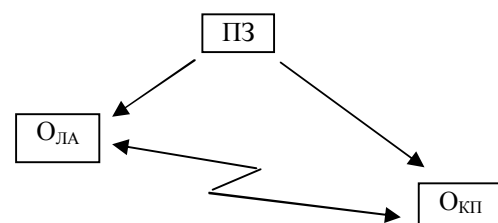


Рис. 1. Типова система інформаційної взаємодії

Така система складається із сукупності трьох взаємопов'язаних елементів. Елементами СІВ можуть бути як окремі пристрої, системи так і комплекси ІО (КІО) повітряного (О_{ЛА}) або наземного (О_{КП}) базування, а також системи радіотехнічної розвідки та РЕП чи окремі постановники навмисних завад (ПЗ). Між елементами О_{ЛА} та О_{КП} здійснюється односторонній або двосторонній обмін інформацією. У загальному випадку типова система може бути

поширена і складати N взаємопов'язаних елементів. З урахуванням характеру інформаційної взаємодії та просторової і часової динаміки елементів в загальному випадку СІВ можна розглядати як складну динамічну систему, для якої сукупність відповідних станів елементів в деякий момент часу t характеризує поточний стан СІВ. Зміна станів окремих елементів за часом визначає динаміку станів СІВ. У процесі виконання польоту переходи СІВ зі стану в стан може відбуватися у детерміновані або випадкові моменти часу.

Детерміновані зміни станів пов'язані зв'язані з виконанням програми польоту ЛА чи відповідними програмованими діями екіпажу. Випадкові зміни станів можуть бути викликані дією завад або відмовленнями (повними або тимчасовими) щодо окремих елементів СІВ.

Складність процесу переходів системи зі стану в стан обумовлена особливостями функціонування радіоелектронних пристроїв і систем та комплексів ІО. Ці особливості полягають в тому, що крім традиційних повних відмовлень, можуть бути тимчасові відмовлення елементів СІВ. Під тимчасовим відмовленням елементів СІВ розуміється тимчасове зниження якості функціонування, при якому відповідний показник лежить поза встановленими межами. Тимчасові відмовлення обумовлені відхиленням поточних умов функціонування в процесі польоту від умов, що необхідні для нормального функціонування пристрою, системи або комплексу ІО. Основними причинами цього можуть бути зміна умов поширення радіохвиль, дія ненавмисних або навмисних завад, а також вплив взаємних завад тощо.

Врахування не тільки повних, але і тимчасових відмовлень елементів СІВ дозволяє визначити динаміку ІО, що здійснюється з використанням комплексів, систем та окремих пристроїв авіаційного радіозв'язку. Використання моделей для елементів СІВ із двома та трьома станами дозволяє в довільний момент часу t характеризувати динаміку СІВ при рішенні кожної конкретної задачі кінцевим набором несумісних станів, тобто відповідним вектором станів

$$H^T = [H_1 \ H_2 \ \dots \ H_i \ \dots \ H_M], \quad (1)$$

де M – кількість несумісних станів, що характеризують динаміку СІВ.

Вибір та опис станів СІВ є евристичною задачею, яка залежить від задачі що розв'язується, числа елементів системи, характером їх взаємодії, характеристик польотного завдання та інших.

Враховуючи велику кількість елементів, складність їх взаємодії, випадковість та складність умов функціонування СІВ може розглядатись, як складна інформаційно-технічна система. Як відомо [6, 7], для складних інформаційно-технічних систем у яко-

сті моделей, що описують процес зміни станів (1) використовують відповідні марковські моделі. Припускаючи, що переходи елементів СІВ зі стану в стан можуть відбуватися в будь-який випадковий момент часу і відповідають принципу відсутності післядії, більш адекватною до реальності може служити модель зміни станів, що визначається відповідним дискретним марковським процесом.

Використання моделі дискретного марковського процесу для опису СІВ потребує розвитку відповідного імовірнісно-часового підходу. Для цього необхідно задати [6, 7] імовірності станів СІВ в початковий момент часу (вектор початкових імовірностей станів СІВ)

$$P(t_0)^T = [P_1(t_0) \ P_2(t_0) \ \dots \ P_M(t_0)] \quad (2)$$

та матрицю перехідних імовірностей станів СІВ

$$P_n(t, t+\Delta t) = \begin{bmatrix} P_{11}(t, t+\Delta t) & \dots & P_{1j}(t, t+\Delta t) & \dots & P_{1M}(t, t+\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1}(t, t+\Delta t) & \dots & P_{ij}(t, t+\Delta t) & \dots & P_{iM}(t, t+\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{M1}(t, t+\Delta t) & \dots & P_{Mj}(t, t+\Delta t) & \dots & P_{MM}(t, t+\Delta t) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Як відомо, безпосереднє визначення матриці перехідних імовірностей станів (3) для поточного часу неможливе. Тому при визначенні імовірностей станів використовують локальні характеристики, якими є інтенсивності відповідних переходів зі стану в стан СІВ за інтервал часу $\Delta t \rightarrow 0$. Стосовно запропонованої моделі СІВ щодо малих інтервалів часу $\Delta t \rightarrow 0$ відповідні імовірності переходу визначатимуться у вигляді [6]:

$$\begin{aligned} P_{ij}(t, t+\Delta t) &= 1 + a_{ij}(t)\Delta t + 0(\Delta t) \quad \text{і} \quad \delta \text{è} \quad i = j; \\ P_{ij}(t, t+\Delta t) &= a_{ij}(t)\Delta t + 0(\Delta t) \quad \text{і} \quad \delta \text{è} \quad i \neq j, \end{aligned} \quad (4)$$

де $a_{ij}(t)\Delta t$ – інтенсивність переходів зі стану H_i у стан H_j ; $0(\Delta t)$ – члени ряду вище першого порядку малості відносно Δt .

З урахуванням цього динаміка імовірностей станів СІВ, для заданих інтенсивностей переходів (4), в вільний момент часу t визначатиметься відповідним векторно-матричним рівнянням

$$\frac{d}{dt} P(t) = A^T P(t), \quad P(t_0) = P_0, \quad (5)$$

де $P(t)^T = [P_1(t) \ P_2(t) \ \dots \ P_M(t)]$ – вектор імовірностей станів СІВ у довільний момент часу t ; t_0 – початковий момент часу; $A(t)$ – матриця інтенсивностей переходів з елементами $a_{ij}(t)$, де $ij=1..M$.

В частковому випадку, коли $A(t) = A = \text{const}$,

рівняння (5) має розв'язок у вигляді рівняння

$$P(t) = \exp(Bt)P_0, \quad (6)$$

де $B = A^T$.

У якості прикладу розглянемо ймовірності станів СІВ, що представлена на рис. 1. Припустимо, що СІВ у будь-який момент часу t протягом виконання ЛА польоту може знаходитися в одному з трьох станів:

H_1 – працездатний стан — стан у якому здійснюється двохсторонній радіообмін інформацією;

H_2 – стан тимчасового відмовлення — радіообмін порушений (показник якості нижче за заданий) через дію навмисних завад;

H_3 – стан повного відмовлення — порушення ІО за рахунок відмови апаратури, що забезпечує радіообмін.

Динаміку станів СІВ за часом можна представити орієнтованим графом, який зображено на рис. 2.

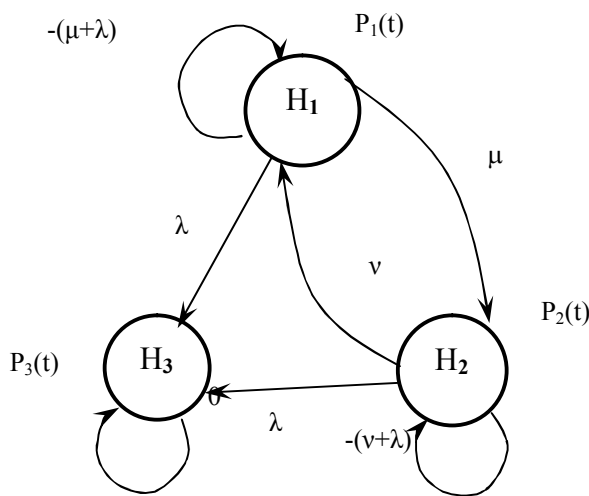


Рис. 2. Граф станів СІВ

На рис. 2 позначено:

$\lambda(t)$ – інтенсивність переходу СІВ зі стану H_1 у стан H_3 ($H_1 \rightarrow H_3$) і з H_2 у H_3 ($H_2 \rightarrow H_3$);

$\mu(t)$ – інтенсивність переходу $H_1 \rightarrow H_2$; $\nu(t)$ – інтенсивність переходу $H_2 \rightarrow H_1$; $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ – імовірності перебування СІВ у відповідному стані в довільний момент часу.

Інтенсивність переходів $H_1 \rightarrow H_3$ і $H_2 \rightarrow H_3$ можна оцінити виходячи з інтенсивності відмовлень сучасних бортових засобів ІО (в передбаченні, що наземне обладнання ІО обов’язково дублюється), наприклад, для радіостанції Р-863, $\lambda = 0.01$ [7].

Для випадку $\mu(t) = \mu$ і $\nu(t) = \nu$ відповідні значення μ та ν можна визначити на основі аналізу відповідних типових циклів взаємодії систем радіотехнічної розвідки та РЕП з авіаційними системами інформаційного обміну [1, 2].

В загальному випадку μ та ν визначаються

$$\mu = t_{HP}^{-1}; \nu = t_{П}^{-1}, \quad (7)$$

де t_{HP} – час інформаційного обміну з заданими показниками якості на протязі одного циклу радіоеле-

ктронної протидії; $t_{П}$ – час відсутності ІО з заданими показниками якості, завдяки дії завад, на протязі одного циклу радіоелектронної протидії.

Розв’язок рівняння (5) з обліком (6) визначатиметься відповідними ймовірностями станів СІВ:

$$P_1(t) = \frac{(1-P_{30})\nu}{\mu+\nu} e^{-\lambda t} + (P_{10} - \frac{(1-P_{30})\nu}{\mu+\nu}) e^{-(\lambda+\mu+\nu)t}, \quad (8)$$

$$P_2(t) = \frac{(1-P_{30})\mu}{\mu+\nu} e^{-\lambda t} + (P_{20} - \frac{(1-P_{30})\mu}{\mu+\nu}) e^{-(\lambda+\mu+\nu)t}, \quad (9)$$

$$P_3(t) = 1 + (P_{30} - 1) e^{-\lambda t}, \quad (10)$$

де $P_{10} = 1$, $P_{20} = 0$, $P_{30} = 0$ – елементи вектора (2), що визначають ймовірність початкових станів СІВ.

Вирази (8), (9), (10) визначають ймовірності станів СІВ для безперервного часу щодо заданих відповідних значень інтенсивностей переходів зі стану у стан з урахуванням РЕП.

Описаний метод дозволяє на основі розв’язку загальних рівнянь (5) або використання часткових результатів (8), (9), (10) на сукупності кінцевих інтервалів проводити відповідну оцінку якості ІО в динамічних умовах функціонування з урахуванням РЕП та надійності авіаційних засобів інформаційного обміну.

В результаті проведення досліджень динаміки зміни ймовірностей станів СІВ протягом виконання польоту в умовах постійного рівня радіоелектронної протидії та дискретного його нарощування у фіксовані моменти часу протягом польоту виявлено, що оскільки інтенсивність відмовлення бортових засобів інформаційного обміну протягом польоту невелика, то ймовірність порушення інформаційного обміну з причини відмови ($P_3(t)$) протягом польоту змінюється не значно.

Водночас ймовірність порушення інформаційного обміну через дію навмисних завад ($P_2(t)$) протягом польоту зростає в районі виконання завдання і складатиме 0,64 (0,68).

У якості елементів СІВ при розрахунках було обрано радіостанцію Р-863 та комплекс РЕП МЛQ-33, як найбільш типові для авіаційних СІВ УКХ діапазону [2].

Таким чином, істотний вплив на зниження якості інформаційного обміну здійснює РЕП високого рівня на рубежі виконання бойового завдання.

Оцінка можливостей противника, що до радіоелектронної протидії ліній інформаційного обміну, яка приведена згідно описаного свідчить про те, що інформаційний обмін на найбільш важливих етапах польоту при використанні існуючих засобів інформаційного обміну буде неможливим.

Перспективним напрямком забезпечення якості інформаційного обміну в цих умовах є створення інваріантних систем і комплексів інформаційного обміну.

Висновки

На основі використання ймовірно-часового підходу та марковської моделі, щодо зміни станів СІО, запропонований метод оцінки якості ІО, який на відміну від відомих дозволяє враховувати динаміку РЕП та її вплив на показники якості ІО. Використання даного методу передбачає наступні основні етапи.

Виходячи з аналізу РЕП, яка передбачається, та поставлених задач на політ здійснюється побудова відповідної моделі СІВ.

По обраній моделі СІВ, визначаються відповідні стани інформаційної взаємодії на протязі виконання польоту (опис вектору станів СІВ (1)).

На підставі аналізу тактико-технічних характеристик елементів СІВ та їх ймовірного взаємного положення та інформаційної взаємодії за часом, визначаються елементи матриці інтенсивностей переходів СІВ зі стану у стан.

Визначається та розв'язується векторно-матричне рівняння (5), або викладеної розв'язки.

Будуються графіки динаміки ймовірностей відповідних станів СІВ та проводиться їх аналіз.

На основі аналізу надаються рекомендації щодо застосування СІВ окремих засобів інформаційного обміну та КІО в умовах очікуваної радіоелектронної протидії.

Список літератури

1. Бовкун О.Я. Радіоелектронне обладнання бойових літаків. Ч.1. Бортові засоби зв'язку / О.Я. Бовкун, А.В. Педько. Мін-вооборони України – Х.: ХУПС, 2005. – 86 с.
2. Основы теории радиоэлектронной борьбы / Под ред. Н.Ф. Николенко. – М.: Воен. издат., 1987. – 352 с.
3. Защита от радиопомех / под ред. М.В. Максимова. – М.: Сов. радио, 1976. – 496 с.
4. Авиационные радиосвязные устройств / Под ред. В.И. Тихонова – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1986. – 442 с.
5. Корочкин А.А. Оценка эффективности истребительных авиационных комплексов / А.А. Корочкин, И.А. Пичко. – Х.: ХВВАИУ, 1989. – 92 с.
6. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации / М.С. Ярлыков. – М.: Радио и связь, 1985. – 342 с.
7. Грушенко М.В. Оцінка ефективності авіаційних радіоелектронних комплексів: навч. посібник / М.В. Грушенко, Б.Б. Поспелов, Ф.Ф. Мисик, В.Ю. Яковлев. – Х.: ХУПС, 2007. – 91 с.

Надійшла до редколегії 16.03.2009

Рецензент: д-р техн. наук, доцент О.В. Лемешко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННОЙ МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ЛИНИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Б.Б. Поспелов, В.И. Дода, А.Б. Куренко

В статье осуществлена разработка подхода и метода оценки качества функционирования авиационных линий информационного обмена, который учитывает динамические возможности систем радиотехнической разведки и РЕП в процессе всего полета или отдельных интервалов времени выполнения боевых задач на основе вероятностно-временного подхода с использованием марковской модели. На основе использования вероятностно-временного подхода и марковской модели, относительно изменения состояний системы информационного обмена, предложен метод оценки качества информационного обмена, который в отличие от существующих позволяет учитывать динамику РЕП и ее влияние на показатели качества информационного обмена.

Ключевые слова: авиационные системы информационного обмена, система информационного взаимодействия, радиоэлектронное противодействие, летательный аппарат.

PROBABILITY-SENTINEL METHOD OF AN ESTIMATION FOR QUALITIES FUNCTIONING OF AN AVIATION LINES OF INFORMATIVE EXCHANGE TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF RADIO ELECTRONIC COUNTERACTION.

B.B. Pospelov, V.I. Doda, A.B. Kurenko

In paper realizable development of method of estimation of qualities of functioning of aviation lines of informative exchange, which takes into account dynamic possibilities of the systems of radio engineering secret service and REP in the process of all flight or separate time domains of performance of battle objectives on the basis of probability-sentinel approach with the use of markov model. On the basis of the use of probabilistic-temporal approach and markov model, in relation to state transition of the system of informative exchange, the method of estimation of quality of informative exchange which unlike existing allows to take into account a dynamics REP and its influence on the indexes of quality of informative exchange is offered.

Keywords: aviation systems of informative exchange, system of informative cooperation, radio electronic counteraction, aircraft.