Коваленко Андрій Степанович

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ

ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СКЛАДОВИХ ТАКТИЧНОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ІНТЕГРАЛЬНУ НАДІЙНІСТЬ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ В ЦІЛОМУ

У статті приведено склад та структуру тактичного безпілотного літального апарату, а також проведено оцінювання їх впливу на інтегральну надійність літального апарату в цілому. Завдяки використанню теорії марковських випадкових процесів об'єкт дослідження формалізовано представлено у вигляді структурно-автоматної моделі, що дало змогу автоматизовано вирішити задачу надійнісного проектування моделі тактичного безпілотного літального апарату через багатоваріантний аналіз.

Ключові слова: *складові тактичного безпілотного літального апарату, інтегральна надійність, показник*

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Склад та структура тактичного безпілотного авіаційного комплексу поля бою (далі – БпАК) в основному визначається у ході обґрунтування оперативно-тактичних та тактико-технічних вимог до нього та проведенні його системотехнічного проектування.

Як правило, до складу БпАК входить (рис. 1) [1-3]:

від одного та більше безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА);

зовнішній екіпаж БпАК (розрахунок);

система управління комплексом;

інформаційно-комунікаційна система;

система візуалізації інформації;

система матеріально-технічного забезпечення життєвого циклу БпАК та інші компоненти.

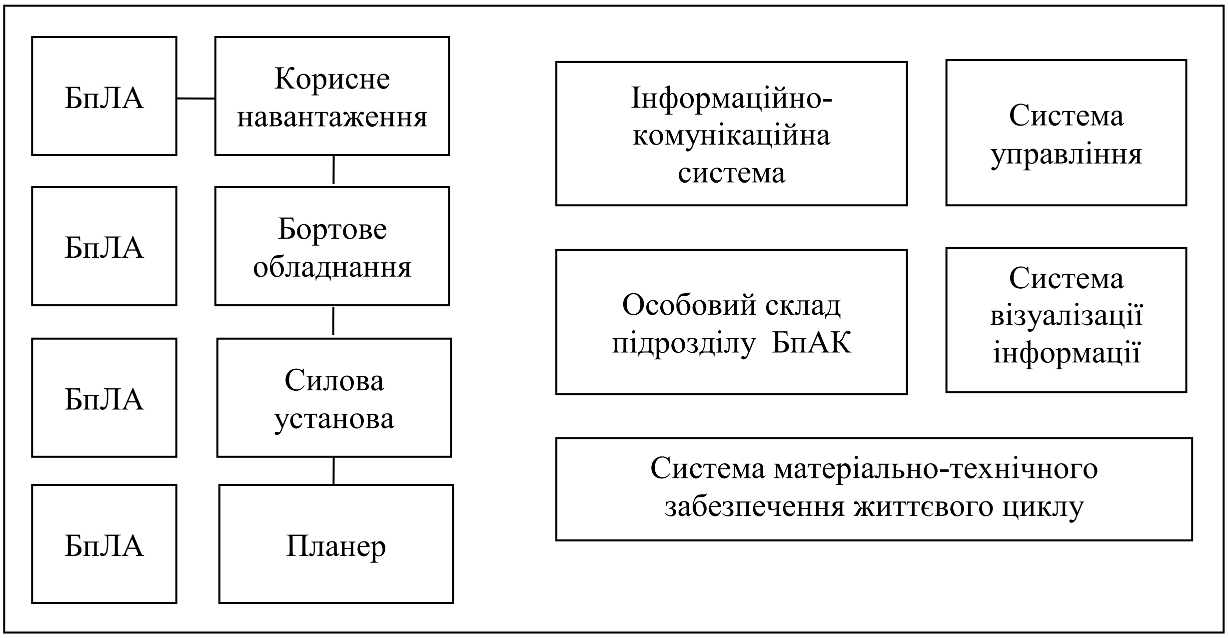

Рис. 1. Склад тактичного безпілотного авіаційного комплексу поля бою

Слід зазначити, що вирішення проблеми створення, виробництва або закупівлі БпАК та оснащення ними ЗС України потребує вивчення досвіду інших країн у вирішенні зазначеної проблеми, а також значних фінансових затрат і, головним чином, продуманої та зваженої політики і планування, чіткого дотримання визначеної стратегії, об’єднання та координації зусиль всіх зацікавлених структурних підрозділів та організацій.

При розробці БпАК обов’язковим є розв’язання ряду задач надійнісного проектування, у т. ч. визначення вимог до надійності складових тактичного БпЛА, а також відпрацювання рекомендацій щодо доцільного вибору їх відмовостійких конфігурацій.

Беручи до уваги складність та обмежений час на виконання системотехнічного проектування, пропонується розробити надійнісну модель тактичного БпЛА із застосуванням технології аналітичного моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем, яка забезпечує належний рівень адекватності аналітичної моделі об’єкта дослідження (далі – ОД). Зазначена технологія базується на теорії марковських випадкових процесів і передбачає формалізоване представлення ОД у вигляді структурно-автоматної моделі (далі – САМ), що дає змогу автоматизовано вирішувати задачі надійнісного проектування через багатоваріантний аналіз. Методика розроблення САМ передбачає виконання таких завдань [4, 5]:

а) створення вербального опису ОД;

б) визначення базових подій;

в) формування вектора стану та визначення його компонент;

г) визначення переліку параметрів ОД, які мають бути представлені в його моделі;

д) формування САМ у вигляді дерева правил модифікації компонент вектора стану.

Метою роботи є оцінювання показників надійності складових тактичного безпілотного літального апарату та визначення їх впливу на інтегральну надійність літального апарату в цілому.

Викладення основного матеріалу дослідження. Математичний апарат, розроблений у теорії ймовірностей для так званих марковських випадкових процесів, можна використовувати для розв’язання багатьох задач системотехнічного проектування складних технічних систем відповідального призначення (далі – ТСВП), коли об’єкт дослідження являє собою стохастичну систему [4].

Випадковий процес вважається марковським, якщо для кожного моменту часу t_0 ймовірність перебування у довільному з усіх можливих станів системи в майбутньому ($t>t_0$) залежить тільки від її стану в даний час ($t = t_0$) і не залежить від того, коли і яким чином система перейшла в цей стан (тобто як розвивався процес в минулому). У теорії марковських випадкових процесів розрізняють дискретні і дискретно-неперервні стохастичні системи. Дискретна стохастична система – це модель випадкового процесу з дискретними станами і дискретним часом. Таку модель також називають марковським ланцюгом. Розрізняють однорідні і неоднорідні марковські ланцюги.

Марковський ланцюг має такі способи представлення. Вважаємо, що стохастична система S має n можливих станів: S1, S2, … ,Sn. Позначаючи Pij ймовірність переходу системи S за один крок (фіксований часовий інтервал) із стану Si в стан Sj, формуємо матрицю перехідних ймовірностей:

$$\left\| P_{ij} \right\| = \begin{Vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} & \dots & P_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nj} & \dots & P_{nn} \end{Vmatrix} \quad (1)$$

Частина перехідних ймовірностей Pij у матриці (1) можуть дорівнювати нулю. Це означає, що за один крок перехід системи з i-го стану в j-й є неможливим. Сума перехідних ймовірностей кожного рядка матриці (1) повинна дорівнювати одиниці.

Марковський ланцюг вважається однорідним, якщо перехідні ймовірності залишаються постійними на кожному кроці.

Матрицю перехідних ймовірностей можна ілюструвати графом станів і переходів. Ймовірності P11, P22, …, Pnn на графі станів і переходів не подаються, оскільки кожна з них доповнює до одиниці суму перехідних ймовірностей, які відповідають всім стрілкам, що виходять з цього стану.

Значення ймовірностей перебування у станах, в яких опиниться стохастична система після k-го кроку, визначаються рекурентною формулою:

$$P_i(k) = \sum_{i=1}^{n} P_j(k-1)P_{ij} \tag{2}$$

де i=1,2,…,n;

$P_J(k-1)$ – значення ймовірностей перебування в станах системи після (k – 1)-го кроку.

Якщо перехідні ймовірності Pij змінюються з часом, то марковський ланцюг вважається неоднорідним. Для такої стохастичної системи значення ймовірностей перебування в станах після k-го кроку визначаються формулою:

$$P_i(k) = \sum_{i=1}^{n} P_j(k-1)P^{(k)}{}_{ij} \tag{3}$$

де i=1,2,…,n;

$P_{ij}^{(k)} = P\left(S_j^{(k)} | S_i^{(k-1)}\right)$ – ймовірність переходу системи на k-му кроці в стан Sj, за умови, що на (k – 1)-му кроці вона була в стані Si.

Дискретно-неперервна стохастична система є моделлю випадкового процесу з дискретними станами і неперервним часом. Таку модель іноді називають неперервним марковським ланцюгом. Наочне зображення дискретно-неперервного випадкового процесу зображено на рис. 2.

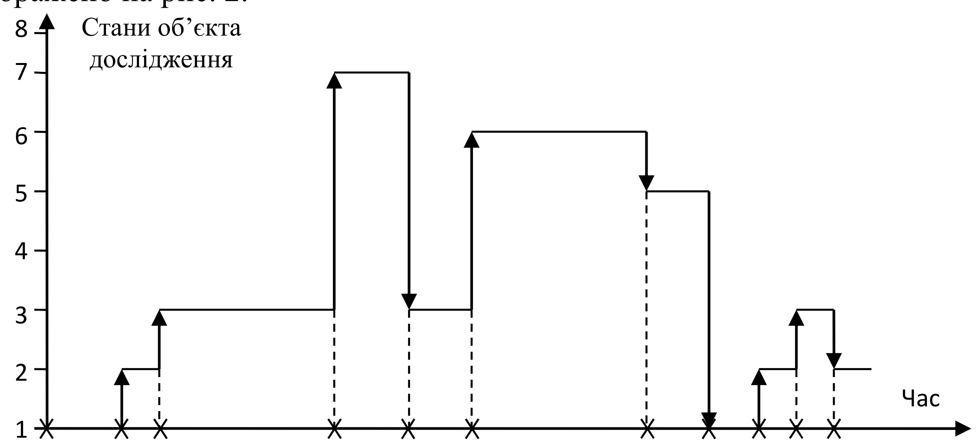

Рис. 2. Фрагмент дискретно-неперервного випадкового процесу

Оскільки в дискретно-неперервних стохастичних системах перехід із стану в стан відбувається в довільний момент часу, замість перехідних ймовірностей P_{ij} використовується щільність розподілу ймовірностей переходу λ_{ij}, яку можна подати наступним чином:

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t}, \qquad (4)$$

де $P_{ij}(\Delta t)$ – ймовірність того, що стохастична система за час Δt перейде в стан Sj, якщо в момент часу t вона була в стані Si.

Якщо всі щільності розподілу ймовірностей переходу λij не залежать від t, марковський процес називається однорідним. І якщо ці щільності є функціями від часу λij(t) – процес називається неоднорідним.

Значення ймовірностей перебування в станах визначаються інтегруванням системи диференціальних рівнянь, які називаються рівняннями Колмогорова-Чепмена. Формування системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена здійснюється за такою методикою:

1) спочатку необхідно скласти для об’єкта дослідження модель-посередник у вигляді графа станів і переходів;

2) для кожного стану записати рівняння, керуючись при цьому таким правилом: у лівій частині кожного рівняння стоїть похідна ймовірності перебування в стані, а права частина має стільки членів, скільки переходів пов’язано з цим станом. Якщо перехід здійснюється із стану, що розглядається, відповідний член має знак “мінус”, якщо перехід здійснюється в цей стан – знак “плюс”. Кожний член рівняння дорівнює добутку щільності розподілу ймовірностей переходу на ймовірність перебування системи в тому стані, з якого цей перехід починається;

3) початкові умови для розв’язання сформованої системи рівнянь визначаються тим, з якого стану графа станів і переходів випадковий процес бере початок.

Якщо всі потоки подій, які переводять систему S зі стану в стан, є пуасонівськими (стаціонарними або нестаціонарними), то процес, що стається у досліджуваній системі, буде марковським. Щільність ймовірності переходу λij в неперервному ланцюзі Маркова являє собою інтенсивність потоку подій.

Якщо кількість станів системи S є величиною обмеженою і з кожного стану можна перейти (за певну кількість кроків) у будь-який інший стан, то існують граничні ймовірності перебування в станах, які не залежать від початкового стану системи. Це означає, що за великої тривалості функціонування системи (t → ∞), коли інтенсивності потоків подій є постійними (λ=const), в системі S встановлюється ймовірнісний стаціонарний режим. У ймовірнісному стаціонарному режимі система S випадковим чином змінює свої стани, але ймовірність перебування в кожному з них не залежить від часу, тобто має деяку постійну величину і називається граничною. Граничні ймовірності перебування в станах Pi, так само, як і дограничні, в сумі повинні давати одиницю:

$$\sum_{i=1}^{n} P_i = 1 \qquad (5)$$

Граничні ймовірності перебування у станах відповідають середнім відносним величинам часу перебування системи S у кожному з її станів.

Для знаходження граничних ймовірностей перебування в станах треба скласти систему диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена і розв’язати її з використанням умови, що в стаціонарному режимі всі граничні ймовірності перебування в станах є постійними величинами і їх похідні дорівнюють нулю. Враховуючи цю умову, система диференціальних рівнянь трансформується в систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яка розв’язується з врахуванням умови нормування (5).

Теорія марковських випадкових процесів розвивається у різних прикладних напрямах, зокрема в моделюванні військових операцій та бойових дій [35], моделюванні поведінки відмовостійких систем [36, 37], а також при моделюванні систем масового обслуговування [38].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Підводячи підсумок, зазначимо, що у роботі завдяки використанню теорії марковських випадкових процесів об'єкт дослідження формалізовано представлено у вигляді структурно-автоматної моделі, що дало змогу автоматизовано вирішити задачу надійнісного проектування моделі тактичного безпілотного літального апарату через багатоваріантний аналіз.

Список використаних джерел

1. Ткачук П.П., Сальник Ю.П., Пащук Ю.М., Матала І.В. Система автоматизованого управління польотом і корисним навантаженням тактичних безпілотних літальних апаратів. Військово-технічний збірник 1 (10) 2014, АСВ, с. 74-78;
2. Бабак С.В. Структура систем управління польотом і багатофункціональним контрольно-вимірювальним обладнанням безпілотних літальних апаратів. ВІСНИК НУК імені адмірала Макарова. № 3, 2014. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://evn.nuos.edu.ua /article/viewFile/45867/42038;
3. Распопов В.Я. Авионика малоразмерных беспилотных летательных аппаратов / В.Я. Распопов, СЕ Товкач // Мир авионики. – 2009. – №3. – с. 39-47;
4. Волочій Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем: Монографія. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 200с. Львівська політехніка", 2004. – 200с.
5. Федасюк Д.В. Методика розроблення структурно-автоматних моделей дискретно-неперервних стохастичних систем / Д.В. Федасюк, С.Б. Волочій // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", 2016. – № 6 (80). – С. 24 – 34. (eLIBRARY.RU; Index Copernicus; INSPEC).
6. Абчук В.А., Матвейчук Ф.А., Томашевський Л.П. Справочник по исследованию операций / Под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.
7. Проектирование отказоустойчивых микропроцессорных информационно-измерительных систем / Б.Ю. Волочій, И.Д. Калашніков, Р.Б. Мазепа, Б.А. Мандзій. – К.: Вища школа, 1987. – 152 с.
8. Иуду К.А., Кривощеков С.А. Математические модели отказоустойчивых вычислительных систем. – М.: Изд-во МАИ, 1989.–144 с
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1991. – 384 с.