

УДК 629.7.083

О. В. ГУРБА,

начальник сектору відділу експлуатації,
надійності і випробувань (Державне
підприємство "Державне кїївське
конструкторське бюро "Луч", м. Київ),

А. М. ШАТРОВ, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник (Державний
науково-дослідний інститут авіації, м. Київ),

М. О. ШИШАНОВ, доктор технічних наук,
професор

(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

Методологічні рекомендації щодо розподілу складових частин керованих авіаційних засобів ураження на групи за рівнями безпеки застосування та контролепридатності

Наведено методичні рекомендації щодо розподілу агрегатів, блоків і систем керованих авіаційних засобів ураження (КАЗУ) на групи з урахуванням їх контролепридатності та впливу на безпеку застосування. У зв'язку з цим вважається доцільним представити КАЗУ у вигляді багаторівневої конструкції взаємодіючих елементів, що об'єднані в підсистеми різних рівнів. Використання процедури декомпозиції дозволить подати їх у вигляді деякої структури, що включає декілька рівнів, та провести розподіл систем, агрегатів, блоків тощо (далі – складових частин) на групи за деякими визначеними ознаками. Математичною основою формалізованого вирішення цієї задачі є агрегативно-декомпозиційний підхід (АДП), суть якого полягає в поданні структури складної системи сукупністю взаємозв'язаних елементів різного рівня.

Ключові слова: агрегативно-декомпозиційний підхід, декомпозиція, керовані авіаційні засоби ураження, контролепридатність, нештатна ситуація, складна система, складова частина

Приведены методические рекомендации по распределению агрегатов, блоков и систем управляемых авиационных средств поражения на группы с учетом их контролепригодности и влияния на безопасность применения. В связи с этим целесообразно представить управляемые авиационные средства поражения в виде многоуровневой конструкции взаимодействующих элементов, которые объединены в подсистемы разных уровней. Использование процедуры декомпозиции позволит представить их в виде некоторой структуры, которая включает несколько уровней, и провести распределение систем, агрегатов, блоков и т. п. (далее – составных частей) на группы по некоторым определенным признакам. Математическая основа формализованного решения этой задачи – агрегативно-декомпозиционный подход, суть которого состоит в представлении структуры сложной системы совокупностью взаимосвязанных элементов разного уровня.

Ключевые слова: агрегативно-декомпозиционный подход, декомпозиция, управляемые авиационные средства поражения, контролепригодность, нештатная ситуация, сложная система, составная часть.

Сучасні керовані авіаційні засоби ураження (КАЗУ), до яких відносяться керовані авіаційні ракети різноманітного призначення і керовані (кореговані) авіаційні бомби, складаються з великої кількості елементів, кожен з яких виконує свої функції, побудований на використанні певних фізичних принципів та має зв'язки з іншими елементами. Кожний конкретний виріб має певну структуру, що визначається типом та бойовим призначенням. Разом з цим, всі вони мають спільні риси з організації побудови та складу обладнання. Тобто сучасні КАЗУ є типовими представниками складних систем і можуть бути розглянуті з позицій теорії складних систем в організаційному і функціональному аспектах [1].

У зв'язку з цим вважається доцільним представити КАЗУ у вигляді багаторівневої конструкції взаємодіючих елементів, що об'єднані в підсистеми різних рівнів. Використання процедури декомпозиції дозволить подати їх у вигляді деякої структури, що включає декілька рівнів, та провести розподіл систем, агрегатів, блоків тощо (далі – складових частин) на групи за деякими визначеними ознаками. Математичною основою формалізованого вирішення цієї задачі є агрегативно-декомпозиційний підхід (АДП), суть якого полягає в поданні структури складної системи сукупністю взаємозв'язаних елементів різного рівня [2].

При декомпозиції складної технічної системи виділяється декілька ієрархічних рівнів, обумовлених різними ступенями абстрагування щодо її технічних, фізичних, хімічних та інших властивостей. У результаті формується упорядкована ієрархічна сукупність складових частин (СЧ), що можуть бути представлені у вигляді однокорінного ієрархічного графа, таблиці, структурованої схеми тощо. Використання такого підходу дозволяє подати функціональну структуру будь-якого КАЗУ у вигляді сукупності ряду систем (наведення, керування, підриву, енергопостачання тощо), що, у свою чергу, також можуть бути складними та підрозділятися на відповідні підсистеми, блоки, агрегати, елементи тощо. Результатом проведення дворівневої функціонально-морфологічної декомпозиції КАЗУ буде агрегація, тобто визначення чотирьох груп СЧ за рівнем контролепридатності та безпеки застосування (рис. 1).

До першої групи віднесемо СЧ, які мають достатню глибину контролю, що дозволяє практично повністю контролювати їх технічний стан як при виготовленні, так і під час експлуатації відповідними системами заводського та експлуатаційного (військового) контролю, зокрема за допомогою автоматизованого комплексу контролю «Гурт», який імітує роботу їх бортового обладнання на траєкторії та дозволяє з великим ступенем достовірності визначити технічний стан систем наведення та енергопостачання, автопілотів, запобіжно-виконавчих механізмів тощо [3]. Наслідками відмов зазначених СЧ можуть бути:

- відміна старту з літака;
- погіршення точності наведення на ціль;
- втрата цілі на траєкторії;
- старт та політ у некерованому режимі.



Рис. 1. Функціонально-морфологічна дворівнева декомпозиція керованого авіаційного засобу ураження на складові частини за рівнем контролепридатності та безпеки експлуатації

При цьому загроза руйнування літака внаслідок їх відмови або нештатної роботи відсутня.

До другої групи віднесемо СЧ, які мають високу експлуатаційну надійність. При цьому всі вони проходять 100% контроль при виготовленні, але під час експлуатації їх технічний стан не контролюється, що обумовлено особливостями конструкції. Технічний стан таких СЧ (до яких відносяться датчики кутових швидкостей, кутових та лінійних прискорень тощо) можна періодично контролювати шляхом виконання експериментально-лабораторних досліджень природних або штучних лідерів. Наслідками відмов таких СЧ може бути погіршення точності наведення на ціль, а

загроза руйнування літака внаслідок їх відмови або нештатної роботи також відсутня.

Зазначимо, що в першу та другу групу увійшли складові частини, які не містять матеріалів спецхімії (вибухових речовин), а контроль їх технічного стану можна проводити з використанням методів параметричного та неруйнівного контролю.

До третьої групи віднесемо СЧ, нештатне спрацювання яких не призводить до пошкодження або руйнування літака, а їх технічний стан вибірково перевіряється на спрацювання (методами руйнівного контролю) лише при виготовленні (як правило, 3% від кожної партії). Зазначимо, що в цю групу увійшли також СЧ, які



Рис. 2. Граф можливих наслідків відмов складової частини керованого авіаційного засобу ураження

містять матеріалів спецхімії, але їх нештатна робота не несе загрози руйнування літака.

До четвертої групи віднесемо СЧ, що містять матеріали спецхімії, а їх нештатне спрацювання може призвести до пошкодження або руйнування літака. Технічний стан таких складових частин також вибірково перевіряється на спрацювання лише при виготовленні (як правило, 3% від кожної партії).

Зазначимо, що у третю та четверту групу увійшли СЧ, технічний стан яких можна визначити лише з використанням методів руйнівного контролю.

Для розподілу СЧ КАЗУ на групи пропонується використовувати граф можливих наслідків відмов [4], що зображений на рис. 2.

Припустимо, що стан СЧ КАЗУ супроводжується несправностями та їх наслідками. Тоді на основі принципів системного аналізу можна розгорнути стан цієї СЧ в ієрархічний граф несправностей та наслідків з вершиною $X^{(1)}$. У свою чергу, вершина $X^{(1)}$ розділяється на прояви несправностей A, B . Відмови представлені як n_A , а нештатна робота – n_B . Із цієї множини варіантів несправностей необхідно відібрати лише сумісні. З множини сумісних варіантів шляхом прийняття рішень визначаємо наслідки та отримуємо граф-дерево наслідків відмов.

Позначимо цей граф як $G = (X, R)$, у якому вершини відповідають наслідкам відмов певної складової частини

$$X_i = \{X^{(1)}, X^{(2)}, X^{(3)}, X^{(4)}\}, \quad (1)$$

де X_i – множина станів складових частин КАЗУ; $X^{(1)}$ – множина станів складової частини КАЗУ; $X^{(2)}$ – множина несправностей складової частини; $X^{(3)}, X^{(4)}$ – множини наслідків несправностей складової частини; $i = \overline{1, s}$ – кількість складових частин КАЗУ.

Множину дуг графа всіх складових частин КАЗУ

$$R_i = \{r^{(1)}, r^{(2)}, r^{(3)}, r^{(4)}\}, \quad (2)$$

поділимо на підмножини дуг кожного рівня

$$R_i^{(2)} = \{r_1^{(2)}, r_2^{(2)}\}, \quad (3)$$

$$R_i^{(3)} = \{r_1^{(3)}, \dots, r_4^{(3)}\}, \quad (4)$$

$$R_i^{(4)} = \{r_1^{(4)}, \dots, r_7^{(4)}\}. \quad (5)$$

Таким чином, стан КАЗУ можна визначити, якщо визначені вершини $X^{(1)}, X^{(2)}, X^{(3)}, X^{(4)}$. Дуги $r_{ik}^j (j = \overline{1, 4}; k = \overline{1, 11})$ характеризують співвідношення між вершинами графа і мають відповідні вагові коефіцієнти $q_{ik}^j (0 \leq q_{ik}^j \leq 1)$ такі, щоб виконувалась умова

$$\sum_{k=1}^{11} q_{ik}^j = 1, \quad (6)$$

де $k = \overline{1, 11}$ – кількість вершин графа наслідків відмов кожної складової частини КАЗУ.

Коефіцієнти q_{ik}^j для кожного рівня графа формують матрицю $Q^j = \|q_{ik}^j\|$, сума елементів кожної строки якої дорівнює 1.

Числові показники значимості кожного рівня можна представити вектором

$$p^j = (p_1^j, \dots, p_k^j)^T,$$

при цьому значення цих показників повинні задовольняти умови

$$0 \leq p_k^j \leq 1, \quad \sum_{j=1}^4 p_k^j = 1. \quad (7)$$

Використовуючи (7) можна визначити вектор коефіцієнтів значимості рівня $j + 1$:

$$p^{j+1} = (Q^j)^T p^j, \quad j = \overline{2, 3}. \quad (8)$$

Вважаючи вектор першого рівня $p^{(1)}$ відомим, отримуємо вектор другого рівня $p^{(2)}$:

$$p^{(2)} = \sum_{k=1}^2 p^{(1)} q_k^{(2)}. \quad (9)$$

Таким чином можна отримати вектори коефіцієнтів значимості наступних рівнів. Значення вагових коефіцієнтів ієрархічно впорядкованого графа наслідків відмов можна буде використати при розподілі ресурсів на етапі відпрацювання комплексу заходів щодо підтримання справності КАЗУ на заданий термін.

Послідовно аналізуючи наслідки відмов СЧ КАЗУ, можна отримати перелік нештатних ситуацій, що можуть трапитись з ним при проведенні контрольних льотних випробуваннях.

Процедуру розподілу СЧ КАЗУ на групи доцільно виконувати в три етапи. На першому етапі, з урахуванням досвіду експлуатації, виконується аналіз технічної документації і складання переліку можливих відмов. На другому етапі визначаються наслідки відмов кожної СЧ, їх вплив на роботу інших складових частин та для усього КАЗУ в цілому щодо безпеки та ефективності застосування, визначається середній час напрацювання та можливі наслідки. За можливістю визначаються середній інтервал часу від моменту виявлення передвідмовного стану до моменту виникнення відмови. На третьому етапі виконується безпосередній розподіл СЧ КАЗУ на чотири групи залежно від рівня контролепридатності та небезпеки їх відмов. У табл. 1 наведено розподіл СЧ КАЗУ на групи за рівнем безпеки застосування та контролепридатності, отриманий з використанням наведеної процедури.

Таким чином, використання процедури декомпозиції дозволяє представити КАЗУ будь-якого типу у вигляді деякої структури та провести розподіл їх СЧ на чотири групи за рівнями безпеки експлуатації та контролепридатності. Це дозволить знизити розмірність задачі, розробити для кожної групи науково обґрунтовані методичні рекомендації щодо проведення досліджень і робіт з підтримання їх справності. Послідовно аналізуючи наслідки відмов СЧ КАЗУ, можна отримати перелік нештатних ситуацій, що можуть виникнути при

Таблиця 1. Розподіл складових частин авіаційних засобів ураження на групи за рівнем безпеки застосування та контролепридатності

Група № 1	Група № 2	Група № 3	Група № 4
Головки самонаведення	Датчики лінійного прискорення	Газогенератори	Ракетні двигуни твердого палива
Радіокомандні системи наведення	Датчики кутової швидкості	Запалювачі	Бойові частини
Блоки формування команд управління	Датчики кутових прискорень	Акумуляторні батареї	Детонатори
Підсилювачі потужності	Датчики сходу	Контактні підривачі	Запобіжно-виконавчі механізми
Рульові приводи	Блоки захисту двигуна	Виконавчі піромеханізми гальмівних систем	–
Неконтактні підривачі	Механізми розкриття аеродинамічних поверхонь	–	–
Електрогенератори	Гальмівні парашутні системи	–	–

проведенні контрольних льотних випробувань. При цьому значення вагових коефіцієнтів ієрархічно впорядкованого графа наслідків відмов можна використати при визначенні імовірності виникнення цих нештатних ситуацій.

На основі аналізу наслідків імовірних нештатних ситуацій розраховуються загальна зона небезпеки, геометричні розміри якої визначаються сукупністю можливих варіантів нештатної роботи КАЗУ. Визначення зони небезпеки також може бути потрібним для уточнення алгоритму бойового застосування КАЗУ після відновлення їх справності та у випадку зміни характеристик після проведення модернізації (ремонтів з модернізацією) окремих блоків, агрегатів та систем.

За наведеною процедурою можна провести розподіл на групи за рівнем безпеки застосування та контролепридатності складові частини ЗУ будь-якого призначення.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ковтуненко А. П., Зубарев В. В. Основы анализа сложных технических систем. Теория и приложения : моногр. К. : НАУ, 2009. 483 с.

2. Зубарев В. В., Любарець А. А., Шатров А. М., Шишанов М. О. Методичні рекомендації щодо декомпозиції керованих авіаційних засобів ураження при рішенні задач продовження строку їх експлуатації. // Збірник наук. праць / ЦНДІ ОБТ ЗС України. Вип. 2 (57). К. : ЦНДІ ОБТ ЗСУ, 2015. С. 244–252.
3. Сандалов О. А. Аппаратура контрольно-проверочная автоматическая «Гурт». М. : ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1990. 87 с.
4. Артюшин Л. М., Зиатдинов Ю. К., Попов И. А., Харченко А. В. Большие технические системы. Проектирование и управление. Харьков : Факт, 1997. 400 с.

Стаття надійшла до редколегії 14.06.2018

Рецензент В. В. Зубарев, д-р техн. наук, проф. (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України)