УДК 519.24: 623.746.4 DOI: 10.54858/dndia.2024-20-30

А.Л. Любарець[1], А.М. Шатров[2], О.В. Ільїна[2]

[1] *Державне підприємство "Державне київське конструкторське бюро "ЛУЧ", м. Київ*
[2] *Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ*

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОЦІНКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЛОГІКО-ЙМОВІРНІСНИХ МЕТОДІВ

У статті наведено методичний підхід щодо оцінки працездатності засобів ураження шляхом описання їх структури і функціонування на основі логіко-ймовірнісних методів та формування на їх основі можливих сценаріїв розвитку аварійних ситуацій.

Перелік можливих варіантів відмов та пов'язаних з ними аварійних ситуацій формується за результатах схемотехнічного аналізу конструкції досліджуваного зразка та функціонально-морфологічної декомпозиції. Розглянуто два підходи щодо аналізу розвитку аварійної ситуації. Перший аналізує розвиток подій, починаючи з моменту виникнення аварійної ситуації до її першопричини, другий навпаки – з моменту виникнення відмови до початку розвитку аварійної ситуації. В обох випадках використовуються імовірності виникнення відмов окремих складових частин.

Структура досліджуваного об'єкту описується функцією алгебри логіки, а кількісна оцінка працездатного стану – ймовірнісною функцією. Вибір алгоритму перетворення пропонується здійснювати з урахуванням складності проведення обчислень та вимог до точності результатів.

У якості прикладу наведено сценарії розвитку аварійної ситуації, яка призводить до переходу керованого засобу ураження в некерований політ.

Ключові слова: *аварійна ситуація, імовірнісна функція, керовані засоби ураження, працездатний стан, складова частина, складна технічна система, функція алгебри логіки.*

Вступ

Постановка проблеми. Більшість сучасних зразків озброєння та військової техніки, у тому числі засоби ураження (ЗУ), особливо керовані, складаються з великої кількості складових (елементів, блоків, агрегатів, систем тощо), кожна із яких виконує свої функції, побудована на використанні певних фізичних принципів та має зв'язки з іншими. Кожен зразок має певну структуру, яка визначається бойовим призначенням. При цьому вони мають спільні риси щодо побудови, що дає підстави вважати їх представниками складних технічних систем (СТС) та розглядати з позицій теорії складних систем як в організаційному, так і функціональному аспектах [1, с. 98, 99]. Враховуючи, що некеровані ЗУ можна розглядати як частковий випадок керованих, у подальшому будемо розглядати саме керовані ЗУ (КЗУ).

Працездатний стан будь-яких СТС характеризується здатністю виконувати свої функції за призначенням та визначається технічним станом їх агрегатів, блоків, систем, підсистем тощо (далі – складових частин), а також зв'язками між ними [2, с. 47, 48; 3, с. 17…27]. Втрата працездатності однієї чи декількох складових частин (СЧ) або порушення зв'язків між ними призводить до відмови виробу у цілому. Очевидно, чим складнішою є система, тим більше вона містить в собі складових, тим складнішими є зв'язки між ними, тим більше потенційних небезпек вона в собі несе. Наслідком втрати працездатності може бути виникнення та розвиток аварійних ситуацій (АС) та неможливість функціонування за призначенням. До АС також відносять ситуації, які характеризуються відхиленням від нормальних (штатних) умов функціонування. Сценарії розвитку АС та їх наслідки обов'язково аналізуються при оцінюванні ризиків застосування, побудові сценаріїв виникнення і розвитку несправностей, аварій, катастроф тощо.

Основними особливостями ЗУ як представників СТС, є їх відносна самостійність (зв'язок із пусковою платформою втрачається після старту) та можливість лише одноразового застосування за призначенням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню питань надійності та живучості присвячено багато робіт вітчизняних і закордонних вчених, які досить повно розробили відповідний математичний апарат щодо функціонування СТС. Водночас, поряд із теорією надійності, все частіше

розглядаються питання формування і можливих сценаріїв розвитку АС під час випробувань, де вони розглядаються з позиції теорії СТС, а для їх аналізу застосовуються основні положення алгебри логіки. При цьому засоби математичної логіки використовуються для аналізу структури СТС, а шляхи підвищення їх надійності розробляються на основі кількісних оцінок надійності з використанням теорії ймовірностей. Підходи, що розглядаються у роботах [1, 2, 4…10] та деяких інших, у цілому дозволяють вирішити загальні завдання щодо створення систем, цільовою функцією яких є забезпечення працездатного стану в різних умовах експлуатації. При цьому майже у всіх доступних джерелах, питання дослідження надійності та живучості СТС одноразового застосування, виникнення та розвитку можливих АС з використанням логіко-ймовірнісної теорії, практично не розглядалися.

Питання щодо оцінки ризиків виникнення та розвитку АС може представляти особливий інтерес у разі організації льотних випробувань зразків ЗУ, які передбачають проведення бойових стрільб [11, с. 115…117].

Метою статті є розробка методичного підходу щодо формування можливих сценаріїв розвитку аварійних ситуацій у процесі функціонування ЗУ з використанням логіко-ймовірнісних методів.

Виклад основного матеріалу

На першому етапі здійснюється схемотехнічний аналіз досліджуваного зразка КЗУ, в результаті якого виділяються такі СЧ, які найменшою мірою впливають на безпеку експлуатації та ефективність бойового застосування, а відхилення їх параметрів, що визначають технічний стан, від номінального значення, є незначним протягом всього терміну експлуатації. Далі, за наростаючою, до таких, що мають високу значимість у функціонуванні та тяжкі наслідки відмов [12, с. 98…103].

З цією метою, для кожного типу КЗУ необхідно скласти перелік функцій його СЧ, варіантів їх відмов та можливих наслідків. У результаті отримаємо критичні СЧ, відмова яких впливає на безпеку та ефективність застосування і може привести до АС. Під час проведення схемотехнічного аналізу також необхідно враховувати, що втрата працездатності може бути обумовлена як відмовою однієї, так і декількох СЧ, а також порушенням зв'язків між ними.

Після завершення схемотехнічного аналізу проводиться процедура функціонально-морфологічної декомпозиції з наданням переваги функціональній ознаці [1, с. 99, 100]. Її результатом є розподіл за групами причин несправностей, що призводять до АС.

Очевидно, що несправний стан певної СЧ ЗУ супроводжується відповідними наслідками. Тоді, використовуючи принципи системного аналізу, можна розгорнути стан ЗУ (або досліджуваної СЧ) у ієрархічний граф несправностей та їх наслідків [1, с. 105…108]. Послідовно аналізуючи наслідки відмов СЧ, можна отримати перелік АС, які можуть виникнути.

У загальному вигляді алгоритм формування можливих наслідків АС КЗУ показано на рис. 1.

Рис. 1. Алгоритм формування можливих наслідків аварійних ситуацій КЗУ
Джерело: розроблено авторами за даними [1, с. 107]

Таким чином, для оцінки працездатного стану КЗУ щодо одного з можливих наслідків АС (відмова старту, некерований політ, політ по балістичній траєкторії тощо), можна представити його структуру у вигляді деякого однокорінного ієрархічного графу.

Для оцінки працездатного стану КЗУ пропонується застосовувати логіко-ймовірнісний метод, суть якого полягає в тому, що структура досліджуваного об'єкту описується функцією алгебри логіки (ФАЛ) [6, с. 363…387; 7, с. 603…613], а кількісна оцінка працездатного стану – методами теорії надійності [1, с. 118…132; 5, с. 126…132]. ФАЛ формується із множини

висловлювань (випадкових подій), що зв'язані між собою логічними операціями (кон'юнкція, диз'юнкція, еквівалентність тощо), при цьому висловлювання можуть приймати тільки два значення: 0 (фальш) або 1 (істина).

Отже, за допомогою ФАЛ можна описати умови працездатності КЗУ таким чином, що з'явиться можливість визначити такі СЧ та їх зв'язки, через які може відбутися відмова (втрата працездатного стану), що, у свою чергу, може привести до виникнення АС.

Враховуючи зазначене, опишемо ФАЛ працездатного стану КЗУ у вигляді структури, яка може знаходитися у двох станах – працездатному ($y=1$) або непрацездатному ($y=0$). При цьому стан системи (y) залежить від стану її СЧ (x_i), які також можуть знаходитися у працездатному ($x=1$) або непрацездатному ($x=0$) станах. Значення двійкових змінних $x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_m$ і визначають вектор стану КЗУ у цілому. Отже у загальному випадку ФАЛ працездатного стану КЗУ можна записати у вигляді

$$y(x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_m) = y(X). \quad (1)$$

Після виявлення всіх можливих сценаріїв можливих АС необхідно оцінити імовірність їх появи. Але, у більшості випадків СТС описуються ФАЛ з повторними аргументами або аргументами заперечення, що не дає можливості напряму скористуватися відомими методами теорії надійності. Тому, для переходу від ФАЛ до імовірнісної функції (ІФ) проведемо наступні заміни: логічні змінні функції заміняються ймовірностями, а логічні операції – арифметичними. У результаті такого перетворення ІФ вже буде виступати як ймовірність істинності ФАЛ.

Принципово існує два підходи до аналізу можливих сценаріїв розвитку АС в СТС [7, с. 603…613; 13, с. 90…96].

Перший підхід аналізує розвиток відповідних подій, починаючи з моменту виникнення АС, і до виявлення відмов тих СЧ, що приведуть систему у непрацездатний стан, тобто аналіз аварії проводиться з кінця в початок. При цьому аналізуються причини (події або поєднання декількох подій), що призводять її у такий стан. У процесі аналізу будується логічна схема, яка містить усі можливі поєднання цих подій. За логічною схемою будується логічна функція, аргументами якої є події, що можуть призвести до АС. Таким чином, вирішується завдання пошуку наслідків впливу на систему шляхів відмови СЧ, що призвели до виникнення АС, тобто має місце аналіз аварії "з кінця в початок".

Другий підхід передбачає аналіз розвитку подій у зворотному напрямку – з моменту виникнення відмови СЧ до початку розвитку АС. Після визначення ініціюючої (початкової) відмови, формується сценарій її розвитку всередині системи за існуючими зв'язками між СЧ системи. Таким чином, визначається її реакція на відмову. Отже, за допомогою другого підходу вирішується завдання пошуку шляхів переходу системи у неробочий стан за умови виникнення будь-якої ініціюючої події, тобто відбувається аналіз АС "з початку в кінець".

Важливо зазначити, що формування сценаріїв розвитку АС системи завжди відбувається у хронологічному порядку, навіть тоді, коли події відбуваються з малою різницею у часі.

Після завершення аналізу за одним із двох підходів, будується логічна схема, що містить усі можливі сценарії розвитку АС, яка дозволяє графічно відобразити логіку виникнення відмов у СТС. За цією схемою будується логічна функція, аргументами якої є події, що присутні у сценарії. У деяких випадках необхідно враховувати можливість спрацьовування окремих підсистем у тій обстановці, що складається до моменту їх штатного підключення.

У більшості випадків, ФАЛ зручно представити в диз'юнктивно-нормальній формі (ДНФ), при цьому кожна кон'юнкція буде представляти шлях розвитку втрати працездатності, тобто сценарій розвитку АС. У якості прикладу на рис. 2 наведено сценарії розвитку АС, що призводить до переходу у некерований політ авіаційної керованої ракети. У побудові використовувався підхід "з початку в кінець". У цьому випадку вираз (1) буде мати вигляд

$$y = z_{13} \vee z_{14} \vee z_{15}. \quad (2)$$

Після побудови всіх сценаріїв розвитку АС (побудови ФАЛ), виконується оцінка імовірності їх реалізації. З цією метою проводиться оцінка впливу факторів небезпеки для кожного з можливих сценаріїв та всіх їх сукупностей шляхом перетворення ФАЛ в імовірнісну функцію (ІФ), аргументами якої є імовірності подій. Підставляючи в ІФ значення ймовірностей, що входять в неї, обчислюємо імовірність виникнення кінцевої події. Для аналізу послідовних, паралельних і деревовидних структур можна використовувати формулу повної імовірності

$$P(y(x_1, x_2, ...x_i, ...x_m)) = 1 \quad (3)$$

Вибір алгоритму перетворення проводиться з урахуванням складності проведення обчислень та вимог до точності результатів. Для практичного застосування щодо СТС, у тому числі для КЗУ, найбільш придатними є алгоритми: ортогоналізації, рекурентний та нарощування шляхів [7, с. 603…613; 8, с. 333…350].

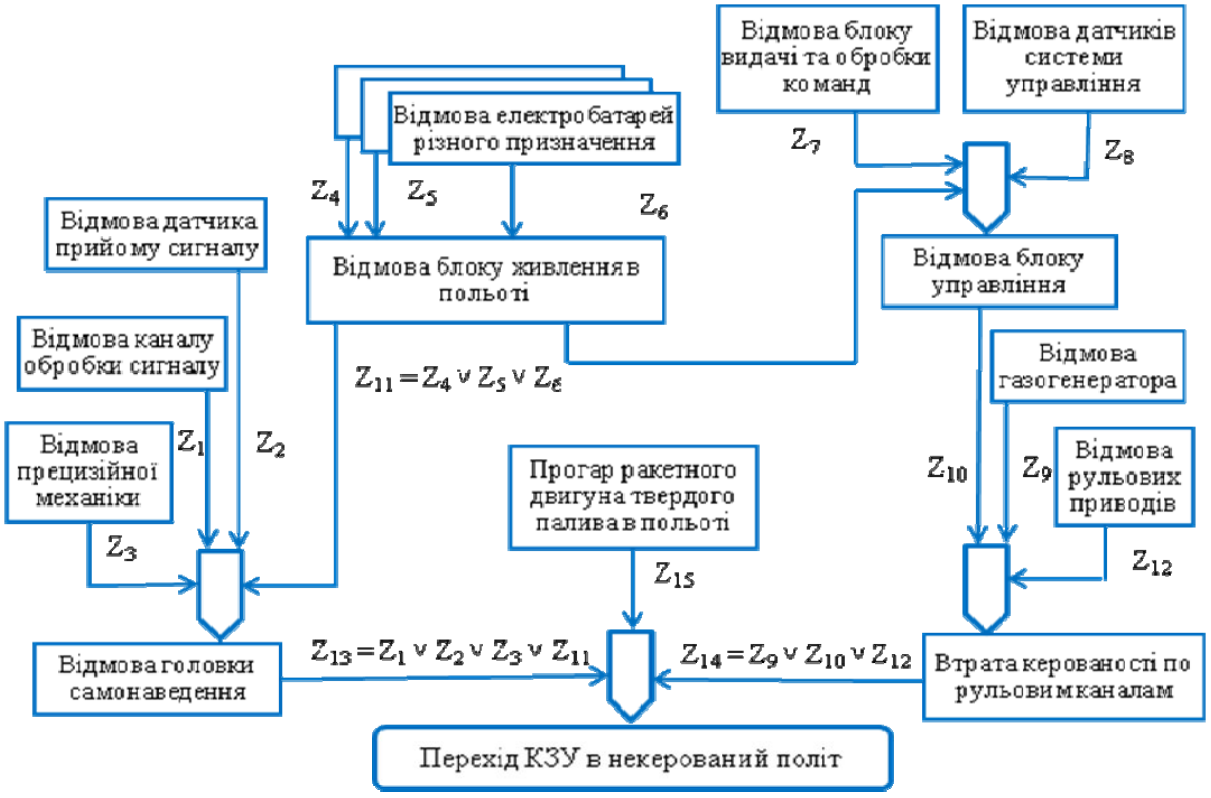

Рис. 2. Можливі сценарії розвитку АС – переходу керованого засобу ураження у некерований політ
Джерело: розроблено авторами за даними [1, с. 107; 13, с. 91…95]

Алгоритм ортогоналізації, який базується на перетворенні ФАЛ в ортогональну ДНФ, є найскладнішим із зазначених з точки зору обчислення.

Імовірність виникнення АС обчислюється з урахуванням властивості, що всі елементарні кон'юнкції є ортогональними, тобто події несумісні. Цей метод рекомендується застосовувати у випадку, якщо імовірності подій мають приблизні значення, оскільки сумарна похибка обчислення буде меншою за рахунок того, що при виконанні перетворення імовірності додаються.

Рекурентний алгоритм базується на використанні теорем складання ймовірностей сумісних подій, у якості яких виступають елементарні кон'юнкції ДНФ, що характеризують шляхи розвитку АС. Розрахунки щодо цього алгоритму проводяться з використанням табличного методу (стовбці яких складають число можливих поєднань кон'юнкцій, а рядки число елементів у системі), застосовуючи теорему множення ймовірностей подій. Цей алгоритм менш громіздкий ніж попередній за рахунок відсутності необхідності додаткових перетворень функцій, але його ефективність зменшується при числі членів ДНФ більше 10.

В алгоритмі нарощування шляхів під час обчислення ймовірності використовується відносна ймовірність неможливості всіх попередніх шляхів, тобто деякі змінні замінюються на 1, що суттєво спрощує подальші обчислення.

Оцінимо розглянуті алгоритми щодо точності результату та складності реалізації.

В алгоритмі ортогоналізації функція представляється диз'юнкцією в базисі "кон'юнкція-заперечення" елементарних кон'юнкцій K_i. Для цього необхідно пронумерувати кон'юнкції, що входять в неї, у порядку підвищення їх рангу, а після цього виконати $n-1$ обчислень кон'юнкцій K_i та їх заперечень. Для цього необхідно обчислити $n-1$ заперечень K_i та представити їх у вигляді диз'юнкції в базисі "кон'юнкція-заперечення". Таким чином, кількість попередніх операцій дорівнює $2n-2$. В результаті цих обчислювань функція перетворюється ортогональну ДНФ, кількість кон'юнкцій якої, а значить і кількість ймовірностей, залежить від конкретної задачі та не перевищує

$$1 + r_1 + r_1 r_2 + r_1 r_2 r_3 + \ldots + r_1 r_2 \ldots r_n , \qquad (4)$$

де r_i – ранги елементарних кон'юнкцій.

Рекурентний алгоритм не потребує додаткових перетворювань функції та реалізується за n кроків. На першому кроці обчислюються імовірності кожної кон'юнкції в ДНФ. На наступних кроках відбувається рекурентне обчислення імовірності

появи події. На останньому етапі обчислюються імовірності появи АС. Таким чином виконується $2n-1$ обчислення.

На початку роботи алгоритму нарощування шляхів відбувається нумерація кон'юнкції, що входять до нього, у порядку підвищення їх рангу, після чого обчислюються імовірності кожної. На наступних кроках відбувається рекурентне обчислення імовірності появи АС. На останньому етапі отримуємо шукану імовірність. При цьому кожен крок складається з двох етапів: підготовчого та безпосереднього обчислення імовірності, тобто потребує двох обчислень. Таким чином, для реалізації цього алгоритму необхідно провести $3n-2$ обчислень.

Перевагою цього алгоритму щодо рекурентного, є те, що при обчисленні імовірності на i-му кроці використовується умовна імовірність неможливості всіх попередніх $(i-1)$ шляхів за умови, що елементи i-го шляху на це не вплинули. Таким чином, в кон'юнкціях замість змінних, що входять в i-й шлях, стоять 1, що суттєво полегшує обчислення.

Отже, рекурентний алгоритм доцільно використовувати, якщо значення ймовірностей виникнення початкових подій мають точне значення, тоді, під час їх множення, похибки мають мінімальні значення.

У протилежному випадку більш зручним є алгоритм нарощування шляхів. Це обумовлено тим, що за рахунок використання умовних імовірностей, деякі змінні заміняються одиницею, тобто під час множення не впливають на результат.

Якщо ймовірності знайдено наближено, все ж краще використовувати алгоритм ортогоналізації, що пояснюється двома причинами. По-перше – ймовірність події обчислюється один раз наприкінці розрахунків; по-друге – ймовірності складаються. Таким чином, сумарна похибка буде меншою.

Для програмної реалізації найбільш зручним є рекурентний алгоритм, який є прийнятним компромісом між простотою та похибкою результату.

Після отримання ІФ працездатного стану проводиться оцінка їх елементів x_i за наступними характеристиками: вагомість, значимість, вклад [9, с. 43…48]. Вагомість ФАЛ складається із m елементів, за яких функція дорівнює 1 (тобто всі СЧ та система у цілому знаходиться в працездатному стані) серед всіх 2^m наборів можливих значень елементів. У результаті, порівнюючи вагомість події можна виділити перелік подій, імовірність виникнення яких є найвищою, та визначити з якими елементами системи вони пов'язані, тобто виділити їх положення у сценарії розвитку АС. Якщо ймовірності подій відомі, то визначається, яка саме подія у ході розвитку АС є найбільш значимою. Значимість ξ_i показує умовну ймовірність безвідмовної роботи за умови працездатності даного елементу x_i та визначається як часткова похідна

$$\xi_i = \frac{\partial P_c}{\partial P_i}, \qquad (5)$$

де $P_c = P(y(x_m) = 1)$ – ймовірність безвідмовної роботи КЗУ; $P_i = P(x_i = 1)$ – ймовірність події (аргументу) x_i ФАЛ.

Значимість показує залежність від імовірності безвідмовної роботи всіх інших елементів системи, окрім вибраного. Так наприклад, для системи із послідовно з'єднаних елементів x_i найбільш значимим є відмова елементу з найменшим значенням імовірності безвідмовної роботи або з максимальним значенням імовірності відмови, а для паралельно з'єднаних найбільш значимим є відмова з найбільшим значенням імовірності безвідмовної роботи або з мінімальним значенням імовірності відмови.

Вклад елемента x_i в працездатний стан визначається як

$$B_i = R_i \cdot \xi_i, \qquad (6)$$

де R_i – ймовірність безвідмовної роботи елемента x_i; ξ_i – значимість елементу x_i.

Вклад елемента x_i характеризує зв'язок із ймовірністю безвідмовної роботи усіх елементів системи. У процесі аналізу працездатності використовуються статистичні дані ймовірності виникнення тих або інших випадкових подій.

В умовах особливого періоду може виникнути потреба щодо підтвердження окремих тактико-технічних характеристик ЗУ вітчизняного та іноземного виробництва. У цьому випадку може виникнути необхідність проведення відповідних контрольних льотних випробувань на полігонах Збройних Сил України, що, у свою чергу, потребує визначення зон небезпеки (ЗН), геометричні розміри яких визначаються сукупністю можливих варіантів їх нештатної роботи. За результатами випробувань також можуть уточнюватися алгоритми бойового застосування [1, с. 230…235].

Запропонований методичний підхід можливих сценаріїв розвитку АС та імовірності їх виникнення використовувався фахівцями Державного підприємства "Державне київське конструкторське бюро "ЛУЧ" та Державного науково-дослідного інституту авіації під час розробки програм льотних випробувань зразків ЗУ вітчизняного та іноземного виробництва у частині розрахунку зон небезпеки. Випробування проводились на полігонах Збройних Сил України для підтвердження їх окремих тактико-

технічних характеристик із метою прийняття обґрунтованого рішення щодо їх допуску до подальшої експлуатації або прийняття на озброєння. За результатами таких випробувань також може бути уточнено алгоритм бойового застосування КЗУ.

Геометричні розміри ЗН під час проведення випробувань зразків ЗУ визначаються сукупністю можливих варіантів їх нештатної роботи (НР), під якою будемо мати на увазі виникнення АС.

Типова форма ЗН ЗУ має форму, наближену до зміщеного еліпсу залежно від тактико-технічних характеристик та особливостей його конструкції (Рис. 3). Дальня межа ЗН визначається енергобалістичними характеристиками ЗУ, ближня – відповідає дальності польоту за максимального відхилення аеродинамічних рулів під час пікірування, а також може визначатися прогаром двигуна, який викликає значний момент поперечної тяги. Бокові зони небезпеки визначаються балістичною дальністю польоту ракети певних відхиленнях аеродинамічних рулів, а також можуть визначатися моментом поперечної тяги, викликаної прогаром двигуна [1, с. 232…235].

Загальна ЗН зразка ЗУ формується шляхом суміщення всіх часткових зон з прив'язкою до точки старту та напрямку на ціль.

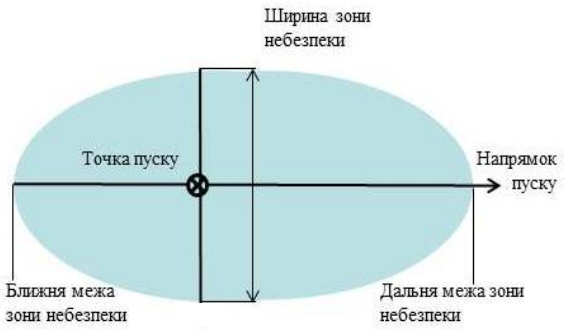

Рис. 3. Типова форма зона небезпеки при випробуваннях засобів ураження
Джерело: [1, с. 233]

Аналіз можливої поведінки засобів ураження як у штатному польоті, так і у разі появи однієї або декілька відмов проводиться по результатах дослідження відповідної математичної моделі, в основу якої покладено відомі рівняння руху центру мас та руху навколо центру мас. Адекватність цієї моделі та її точність підтверджується відповідними льотними випробуваннями.

Імовірності безвідмовної роботи СЧ ЗУ визначаються експертним шляхом, у тому числі за характеристиками відповідних виробів-аналогів.

Імовірність появи кожної АС залежить від надійності СЧ та пов'язаних з ними причинно-наслідковими зв'язками. Так, аналіз можливих сценаріїв розвитку АС, які можуть виникати під час стрільби зенітними керованими ракетами, виявив можливість появи більше десятка варіантів їх НР.

Висновки

Формування переліку можливих АС ЗУ пропонується проводити послідовно за результатами схемотехнічного аналізу та функціонально-морфологічної декомпозиції з наданням переваги функціональній ознаці, наслідком якої є представлення його структури у вигляді деякого однокорінного ієрархічного графу.

Для оцінки працездатного стану зразка ЗУ застосовується логіко-ймовірнісний метод, при цьому його структура описується ФАЛ, а працездатний стан – методами теорії надійності. Після завершення аналізу будується логічна схема, яка містить усі можливі сценарії розвитку АС та дозволяє графічно відобразити логіку виникнення відмов. За цією схемою також формується логічна функція, аргументами якої є події, які присутні в сценарії.

Вибір алгоритму для практичного перетворення ФАЛ в ІФ здійснюється з урахуванням складності проведення обчислень та вимог до точності результатів. Найбільш придатними у цьому аспекті є алгоритм ортогоналізації, рекурентний алгоритм та алгоритм нарощування шляхів. Для програмної реалізації найбільш зручним є рекурентний алгоритм, який є прийнятним компромісом між простотою розрахунків та похибкою результату.

Наведений методичний підхід формування можливих сценаріїв розвитку НС під час проведення випробувань зразків КЗУ дозволяє оцінити імовірність їх виникнення, а отримана ІФ працездатності та відповідна оцінка їх елементів, дозволяє виділити перелік подій та СЧ, вплив яких на працездатність є найбільшим. Їх значимість та роль у можливих сценаріях розвитку НС доцільно використовувати під час розробки та розрахунків зон небезпеки у процесі проведення льотних випробувань ЗУ різного призначення. По результатах таких випробувань також можна уточнювати алгоритм бойового застосування.

Запропонований методичний підхід дозволяє оцінити ймовірність працездатного стану ЗУ та їх СЧ шляхом аналітичного опису сценаріїв розвитку можливих АС. Отримана ІФ працездатності та відповідна оцінка їх елементів, дозволяє виділити перелік подій та відповідних СЧ, вплив яких на надійність є найбільшим. Їх положення та роль в сценарії розвитку АС може використовуватися під час:

розробки і реалізації алгоритмів діагностики та пошуку несправностей у процесі організації і проведення ремонту;

модернізації та розробки нових ЗУ;

розрахунків ЗН у процесі проведення полігонних льотних випробувань.

Наведений методичний підхід використовувався Державним підприємством "Державне київське конструкторське бюро "ЛУЧ" для розрахунку ЗН під час проведенні контрольно-льотних випробувань ряду ЗУ іноземного і власного виробництва.

Подальші дослідження за представленою тематикою доцільно зосередити на комплексному рішенні проблем підвищення надійності у напрямі мінімізації наслідків аварійних ситуацій на основі можливих сценаріїв їх розвитку.

Список літератури

1. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения, т.11. Монография. Синтез системы поддержания исправности средств поражения / Б. П. Креденцер, Б. Н. Ланецкий, С. В. Лапицкий, А. А. Любарец, И. В. Одноралов, А. Н. Шатров, М. А. Шишанов / под ред. О. П. Коростелева. – К.: Видавничий дім Дмитра Бураго, 2019. – 332 с.

2. В.В. Зубарев, А.П. Ковтуненко, А.В. Василенко, И.Б. Чепков, М.А. Шишанов. Основы теории комплексного обоснования требований к техническим показателям сложных систем. – К.: 2010. – 356 с.

3. Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиатдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко. Большие технические системы: Проектирование и управление. – Харьков: Факт, 1997. – 400 с.

4. Ковтуненко А.П., Зубарев В.В. Основы анализа сложных технических систем. Теория и приложения: Монография. – К: СПД Богданов В. О., 2009. – 496 с.

5. Зубарев В.В., Ковтуненко А.П., Раскин Л.Г. Математические методы оценки и прогнозирования технических показателей эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем: Монографія. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 184 с.

6. Paul R. Halmos. The Basic Concepts of Algebraic Logic. The American Mathematical Monthly. Vol. 63, No. 6, 1956, pp. 363-387. DOI: https:// doi.org/10.2307/2309396.

7. Ryabinin I.A. A suggestion of a new measure of system components importance by means of boolean difference. // Microelectronics and reliability, vol.34, №4. Printed in Great Britain, 1994, pp. 603-613.

8. C.W. Johnson. A probabilistic logic for the development of safety-critical, interactive systems. *International Journal of Man-Machine Studies.* Volume 39, Issue 2, August 1993, Pages 333-351.

9. V.V. Zavgorodnii, G.A. Zavgorodnya. Method of representation of knowledge about the assessment of risk of appearance of technogenic accidents, *Bulletin of Kremenchuk Mikhaylo Ostrohradskyi National University* 4 (111) (2018): pp. 43-48, DOI:10.30929/1995-0519.2018.4.43-48.

10. Ernest J. Henley, Hiromitsu Kumamoto. Reliability engineering and risk assessment. – Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632. 1981. – 528 p.

11. В.Лукьянчук, И.Николаев, Б.Ланецкий , И.Теребуха , В.Васильев, Д.Фоменко. Особенности государственных испытаний зенитного ракетного комплекса средней дальности с использованием технологии виртуального полигона. Матеріали конференції Débats scientifiques et orientations prospectives du diveloppement scientifique 5 février 2021. Paris, République Française, p. 115-120. *Зб. наук. праць ΛΌГОΣ*. DOI: https://doi.org/10.36074/logos-05.02.2021.v2.35.

12. Печура Д.С., Шатров А.М., Ільїна О.В. Методичний підхід щодо формування та прогнозування визначальних параметрів технічного стану керованих засобів ураження. *Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. Випуск 18(25). Київ: ДНДІА, - 2022. С. 98-103. http://doi: 10.54858/dndia.2022-18-15.

13. Н.С. Севрюгина, Е.В. Прохорова, А.В. Дикевич. Моделирование нештатных ситуаций при оценке надежности спецтехники. *Вісник Харківського національного автодорожнього університету*, вип. 57, 2012, С. 90-96.

Надійшла до редколегії 28.10.2024
Схвалена до друку 15.11.2024

Відомості про авторів

Любарець Андрій Анатолійович

кандидат технічних наук
начальник відділу
Державного підприємства "ДержККБ "ЛУЧ",
Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0001-5647-3745

Шатров Андрій Миколайович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0002-3070-7483

Ільїна Олена Вікторівна

науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0003-1172-0057

Information about the authors

Andrii Liubarets

Candidate of Technical Science
Head of the Department
of State enterprise "SKDB "LUCH",
Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0001-5647-3745

Andrii Shatrov

Candidate of Technical Science
Senior Researcher
Leading Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-3070-7483

Olena Ilina

Research Associate
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0003-1172-0057

A METHODOLOGICAL APPROACH TO DETERMINING THE SURVIVABILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS FOR MILITARY PURPOSE IN COMBAT CONDITIONS

A. Liubarets, A. Shatrov, O. Ilina

The article provides a methodical approach to the formation and development of possible scenarios for the development of abnormal situations during tests of controlled means of destruction by describing their structure and functioning based on the logic-probability theory.

To form a list of possible abnormal situations, a functional-morphological decomposition is carried out with preference given to the functional feature, the consequence of which is the distribution by groups of the causes of malfunctions and damages that lead to emergency situations. A logical-probabilistic method is used to assess the working state, the essence of which is that the structure of the object under study is described by the algebra of logic (FAL) function, and the quantitative assessment of the working state – by methods of reliability theory. As a result of such a transformation, the probability function will already act as the probability of the truth of FAL. At the same time, the structure of the researched object is described by the function of algebra of logic, and the quantitative assessment of the working condition is described by the probability function. At the same time, it is convenient to represent the function of logic algebra in disjunctive normal form (DNF). Each DNF conjunction represents a path leading to a dangerous condition.

The selection of the conversion algorithm is proposed taking into account the complexity of the calculations and the requirements for the accuracy of the results. It is shown that the orthogonalization algorithms, the recurrent algorithm, and the path extension algorithm are the most suitable for practical purposes. For software implementation, the most convenient is the recurrent algorithm, which is an acceptable compromise between simplicity and error of the result.

Possible scenarios of the development of emergency situations were considered under the condition that their occurrence is due to the failure of one or more component parts of the means of destruction or a violation of the connections between them. This approach makes it possible to single out the components that have the greatest impact on performance.

Analysis of the behavior of the controlled means of damage in normal flight and in the event of one or more failures makes it possible to determine the danger zones during flight tests.

Keywords: probability of failure-free operation, probability function, controllable means of destruction, abnormal situation, operable state, logic algebra function.