

Ухвалення рішення про подальшу експлуатацію системи. Значення ймовірності P , отримане в розглянутому прикладі, вказує на можливість успішного приземлення на момент прогнозу за визначальним параметром X . Отже, система (з огляду на цей параметр) може експлуатуватися без будь-яких обмежень.

Запропонований метод дозволяє здійснювати змінний стиск даних, оскільки не потрібно запам'ятовувати всі значення прогнозованого параметра, а тільки оцінки середніх і дисперсій кожної підвибірки, досить просто використати нову інформацію, обсяг якої має бути не менше ніж обсяг підвибірки, а також із надходженням інформації виконувати поточний контроль за параметром і одержувати прогнозне значення цього параметра.

Список літератури

1. *Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования* / Под ред. И.М. Синдеева. – М.: Транспорт, 1984. – 191 с.
2. *Френкель А.А.* Прогнозирование производительности труда: методы и модели. – М.: Экономика, 1989. – 214 с.
3. *Лукашин Ю.П.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. – М.: Статистика, 1979. – 254 с.
4. *Синицын Б.С., Белгородский С.Л., Зеленков А.А., Мирошниченко О.Г.* Применение методов математической статистики при анализе точности бортовых систем автоматизированного управления // Измерения, контроль и автоматизация (ИКА). – М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1981. – №3(37). – С. 43–52.
5. *Проект инструктивных материалов по сертификации систем автоматической посадки.* Циркуляр АЗ/36-7В/195. – Монреаль, ИКАО, 1979. – 18 с.

Стаття надійшла до редакції 25.10.02.

УДК 521.12-2 666

УДК 519.21

Комплекс зенітно-ракетний, техніка України, техніка ракетної війни.
надежность сложной системы
модель функционально-математическая
надежность комплекса

О.О. Овчаров, здобувач
(Київський національний економічний університет)

СПЕЦИФІКАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СТРУКТУРИ ЗЕНІТНО-РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Розглянуто математичну модель оцінювання надійності процесу функціонування довільних реальних систем.

Воєнно-економічні проблеми перебудови Збройних сил (ЗС) України є актуальними, особливо з погляду входження нашої держави в структури НАТО. Науково-технічний потенціал країни досить легко міг би забезпечити успішне вирішення цих проблем, зважаючи на найкращі досягнення деяких параметрів у космології, космонавтиці, ракетобудуванні, авіабудуванні, танкобудуванні, матеріалознавстві, а також у побудові зенітно-ракетних комплексів (ЗРК). Але науково-технічна позитивна можливість вирішення проблеми не має фінансового забезпечення в зв'язку з недостатнім бюджетним фінансуванням, що носить стохастичний, важко передбачуваний характер.

В умовах, що склалися, доцільно розглядати не всю проблему в комплексі ЗС, а часткові підпроблеми для окремих видів озброєння і військової техніки (ОВТ) та їх структур, але з огляду на майбутню перспективу комплексного вирішення всієї проблеми. Тому не можна ставити вирішення підпроблеми як окремої і самостійної, потрібно розглядати тактико-технічні вимоги (ТТВ) і тактико-технічні характеристики (ТТХ) підсистеми раціонально (по можливості оптимально) щодо всієї системи ЗС України, і насамперед, до науково-передбачуваного майбутнього її стану.

Особливо актуальною постає проблема оптимального вирішення побудови структури вимог до ТТХ окремого виду ЗС для продукування окремих зразків ОВТ з огляду на перспективу. Деякі підходи до раціонального вирішення підпроблеми розбудови ЗРК у науковій літературі вже є. Щодо оптимального вирішення розподілу вимог до окремих елементів системи за ТТВ до неї в цілому, то ця науково-дослідна проблема на сьогодні не має свого повного вирішення че-

рез складність (нелінійність, трансцендентність) зв'язків між рівнем показників ТТХ системи і рівнем витрат (вартості) на його досягнення (забезпечення). Спрощеними методами вирішення проблеми оптимального розподілу ТТХ системи між її підсистемами є методи лінійного програмування [2; 3], лінійчаті підходи [2–5], що дають дуже наближений скінченний результат, адекватність якого є несприйнятливою, зважаючи на сучасний рівень техніки і технології та рівня адекватності вимог до застосованих інформаційних технологій і скінченного розв'язку. Чіткий формалізований розв'язок проблеми оптимізації розподілу знаходимо в роботах [6; 7], а стохастичний підхід до її вирішення – в роботах [8; 9].

Для розв'язання проблеми оптимізації розподілу ТТХ і побудови відповідної економіко-математичної моделі побудуємо моделі оцінювання функціональної надійності складних систем, елементи яких детерміновано описують її структуру [7].

Сучасні складні техніко-економічні системи характеризуються нечіткістю визначення своєї конфігурації з погляду процесу їх функціонування. Це пояснюється рознесенням їх у просторі і часі, гнучкістю технології продукування, суперечливістю інформаційних потоків командного характеру, що підпорядковувані актуальності потреб продукції, її видозмінам нагальним потребам і конкуренції, адаптації процесу функціонування (ПФ) до оптимальних режимів. Для визначення надійності ергатичних, економічних чи яких інших систем детермінованої структури запропонуємо метод оцінки надійності або ризику відмов довільної складної системи. Сучасні ЗРК можна трактувати як ергатичні системи.

Саме в оцінюванні надійності системи, а не в її визначенні полягає поставлена задача. Під надійністю будемо розуміти ймовірність безвідмовної роботи системи чи її елемента протягом заданого відрізка часу.

Функціональна надійність складної системи є випадковою величиною. Однією з основних властивостей складної системи є її призначення для виконання великої кількості різноманітних завдань, тобто для обслуговування вимог, які можуть дуже різнитися за змістом й методами опрацювання. Отже, для обслуговування вхідної до системи течії можуть застосовуватися як усі, так і лише частина підсистем або елементів системи. Множина залучених до виконання деякої вимоги підсистем утворює певну підструктуру із всієї структури функціонування. Для виконання окремих вимог до завдання з вхідної течії потрібна, можливо, інша множина підсистем системи, яка утворить зовсім іншу підструктуру на час свого функціонування. Тобто подібна система має змінну структуру функціонування і трактується як система зі стохастичним поєднанням у ній елементів [1].

За різноманіттям структури вимог ЗРК можна включити до стохастичних систем, ПФ і ТТХ яких однозначно визначають поєднання в підсистемі. Такий окремий випадок може характеризуватися типом вимоги, її напрямом, потужністю, транзитивністю, кінцевим призначенням та прогнозованою метою. Хоча в літературі [5] терміном “стохастична система” позначають систему, що описується стохастичними диференціальними рівняннями.

Підсистеми складної системи надалі називатимемо її елементами. Отже, для виконання певної вимоги з вхідної течії в системі задіяна певна множина її елементів. Якщо протягом часу обслуговування цієї вимоги відмовить один або кілька елементів системи, що не належать до задіяної множини поєднаних елементів, то на загальну надійність ПФ складної системи це ніяк не вплине. Тобто надійність незадіяних елементів системи на цей момент щодо системи можна інтерпретувати як таку, що дорівнює одиниці. Якщо ж елемент є задіяним для обслуговування, то його надійність безпосередньо впливає на надійність усієї системи і визначається його технічною надійністю.

Якщо розглянути довільний елемент системи в довільний момент часу, то його надійність може виявитися різною: вона дорівнює одиниці, якщо елемент не є задіяним, або технічній надійності, якщо елемент є задіяним у цей момент. Спроба застосувати в подібній ситуації відомі класичні формули для визначення надійності призводять до неадекватного результату, оскільки вони розраховані на детерміновані, а не стохастично зв'язні системи. Для оцінювання вказаної надійнос-

ті скористаємося методом, наведеним у роботі [6]. Для цього необхідно знати ймовірність використання кожного елемента складної системи, адже для обслуговування вимог елементи залучаються з різною ймовірністю. Але потрібну ймовірність можна оцінити відносною частотою використання кожного елемента в системі, що практично не становить жодних труднощів.

Функціональна надійність системи обов'язково залежить від функціональної структури системи, тобто від способу поєднання елементів у ній. У роботі [6] побудовано моделі для оцінювання функціональної надійності систем зі стохастично-последовним, стохастичним последовно-паралельним, стохастичним мішаним з'єднанням елементів. Побудуємо модель оцінювання надійності системи з последовно-паралельно-последовною функціональною структурою, відмінною від зазначених структур, що краще відповідає системам ЗРК.

Різноманіття реальних ситуативних систем, особливо в комп'ютерних мережах, у галузях економіки, де детермінованість, стохастичність чи наявність зв'язку елементів у системі важко визначити через невизначеність структури як системи взагалі, зумовлюють необхідність дослідження систем саме з такою конфігурацією функціональної структури. Нерідко сприйняття системою окремого елемента лише в структурі певного ланцюга (стохастичний зв'язок ланцюгів) визначене нечітко, тому важко врахувати дію інших техніко-економічних факторів, що впливають на процес функціонування системи і які потрібно розглядати в економіко-математичній моделі з метою підвищення її рівнів адекватності і вірогідності.

Складні системи, що розглянуті в роботі [7] і які моделюють процес функціонування складних технічних систем та складних економічних структур, не вичерпують всього різноманіття з'єднання елементів, яке зустрічається в реальних системах. Тому для розгляду реальної технічної системи чи економічної структури доводиться варіювати між різними структурами схем з'єднання елементів, розглянутих раніше. Тільки найбільш відповідна до реальності комбінація розглянутих схем здатна продукувати адекватні результати під час оцінювання надійності та параметрів ефективності реальних систем. Комбінуючи схемні варіанти різних систем, варіанти різного схемного з'єднання елементів, одержуємо узагальнений погляд на системи, типи яких розглядалися раніше. Узагальненість схемного погляду на нелінійні частини систем дозволить інтерпретувати зазначені схеми сполучення елементів через схему резервованих ланцюгів.

Будь-яку з розглянутих систем можна інтерпретувати як ланцюгово-последовно-паралельне схемне з'єднання елементів, яке допускає найадекватніше описування процесу функціонування реальних складних технічних та економічних систем, структура яких не вкладається в чисто класичну і вимагає додаткових досліджень.

Розглянуті методологічні підходи застосуємо до дослідження наступної узагальненої системи. Така система складається з n окремих "основних" елементів (підсистем). Тоді її можна подати як последовне з'єднання k неідентично зарезервованих ланцюжків елементів чи резервних аналогів цих елементів, кожен з яких можна ідентифікувати i -м ($i = 1, 2, \dots, k$) блоком-ланцюгом. Кратність резерву в кожному i -у ($i = 1, 2, \dots, k$) блоці-ланцюзі, яку позначимо r_i , може бути різною. Виходячи з найзагальніших припущень про функціональну структуру складної системи, маємо припустити, що в кожному j_i -му ($j_i = 1, 2, \dots, r_i$) ланцюзі i -го ($i = 1, 2, \dots, k$) блока-ланцюга кількість елементів може бути різною, тому позначимо цю кількість через m_{ji} . Тоді

$$\sum_{i=1}^k m_{ji} = n.$$

Надійність n_{ji} -го ($n_{ji} = 1, 2, \dots, m_{ji}$) елемента з j_i -го ($j_i = 1, 2, \dots, r_i$) ланцюжка i -го ($i = 1, 2, \dots, k$) блока-ланцюга системи позначимо через $p_{n_{ji}}$, а частоту його використання – через $w_{n_{ji}}$. Із схемної структури такої системи видно, що елементи системи сполучаються в последовний ланцюг із блоків-ланцюгів, кожен з яких усередині резервується, тобто має паралельне з'єднання функціонально аналогічних ланцюгів, а кожен ланцюг є последовним сполученням елементів.

Така схема є узагальненою на розглянуті раніше системні структури, а оцінка її надійності являє собою узагальнений погляд на надійність розглядуваних системних структур. Подібний узагальнений погляд можна було б використовувати завжди, не розглядаючи жодну іншу систему. Але на заваді стає аналітична й схемна громіздкість викладок, що може повністю затінити собою важливі деталі ПФ. Тому узагальнений погляд на блок-схему складної системи може бути зосереджений лише на певних факторах.

Отже, всі n елементів системи функціонально структурно згруповані в k паралельно-последовних блоків. Кількість основних елементів у кожному блоці відповідно дорівнює $m_{11}, m_{21}, \dots, m_{k1}$, та їхня загальна кількість

$$\sum_{i=1}^k m_{i1} = n.$$

Перший основний последовний ланцюг елементів кожного i -го ($i = 1, 2, \dots, k$) блока резервованій функціонально подібними (ідентичними) ланцюгами неіdentичних елементів r_i разів, причому j_i -й ланцюг із резерву має m_{ji} последовно з'єднаних неіdentичних з "основними" елементів. Резервний последовно-зв'язний ланцюг має кількість елементів, тобто відмінну від кількості "основних" елементів, які утворюють перший ланцюг кожного блока-ланцюга:

$$m_{ji} \neq m_{i1}; \sum_{i=1}^k m_{ji} \neq n.$$

Описана структура системи являє собою узагальнений схемний погляд на процес функціонування довільних реальних систем, що є структурно складнішими щодо розглянутих раніше. Узагальнення полягає в поданні системи через блоки, коли, у частинному випадку, последовно зв'язний окремих елемент є також блоком. Узагальнення поширене на резервування системи, його неіdentичність та функціональну структуру, в якій певна кількість елементів (последовний ланцюг) резервується іншою кількістю інших же елементів, що також створюють последовний, функціонально ідентичний резервованій ланцюг.

Подібні підходи до дослідження ризику відмов і надійності систем такого типу, особливо з урахуванням стохастичності функціональних зв'язків їх елементів, невідомі. Тому спробуємо дослідити цю схемно узагальнену складну систему, тим більше, що нам вдалося, на наш погляд, знайти чіткі підходи до ймовірнісного трактування різноманітної зв'язності елементів цієї системи.

Для розглядуваної складної системи кількість окремих основних функціональних елементів в системі, що складають основні перші ланцюги кожного блока-ланцюга складної системи, позначимо n , кількість блоків-ланцюгів, на які розпадається складна система, – k , номер (змінний індекс) блока-ланцюга – i ($i = 1, 2, \dots, k$), кількість елементів в основному (першому) ланцюзі i -го блока-ланцюга – m_{i1} ($m_{11} + m_{21} + \dots + m_{k1} = n$), кількість резервних ланцюгів разом з основним ланцюгом в i -му блоці-ланцюзі системи – r_i , номер (змінний індекс) ланцюга з резерву в i -му блоці-ланцюзі – j_i ($j_i = 1, 2, \dots, r_i$, $i = 1, 2, \dots, k$), кількість елементів в j_i -му резервному ланцюзі i -го блока-ланцюга – m_{ji} , номер (змінний індекс) елемента в j_i -му ланцюзі i -го

блока-ланцюга системи – n_{ji} ($n_{ji} = 1, 2, \dots, m_{ji}$, $j_i = 1, 2, \dots, r_i$, $i = 1, 2, \dots, k$; $\sum_{i=1}^k m_{ji} \{ \leq, =, \geq \} n$),

надійність елемента системи, що перебуває в її ієрархічній структурі за n_{ji} -ю адресою, тобто на n_{ji} -му місці j_i -го ланцюга i -го блока – $p_{n_{ji}}$ ($n_{ji} = 1, 2, \dots, m_{ji}$, $j_i = 1, 2, \dots, r_i$, $i = 1, 2, \dots, k$).

Тепер розглянемо у введених позначеннях математичну модель оцінювання надійності складних економічних структур та складних технічних систем, якщо їх функціональна структура описується найзагальнішою последовно-паралельно-последовною схемою. Після аналітичних розрахунків, складних і об'ємних перетворень при оцінюванні надійності цієї системи, скінченного аналізу одержуємо скінченний результат побудови економіко-математичної моделі у вигляді

$$P = \prod_{i=1}^k \left[1 - \prod_{j_i} \left(1 - \prod_{n_{ij_i}=1}^{m_{ij_i}} P_{n_{ij_i}} \right) \right].$$

Отримана формула для оцінювання надійності складних систем у певному розумінні є універсальною і може широко використовуватися як для розрахунків реальних складних технічних систем, так і для описання процесів функціонування складних економічних структур.

У порівнянні з досліджуваними раніше моделями одержана модель є більш узагальненою. Універсалізм її ґрунтується на широкій множині описових параметрів і їх загальності, внаслідок чого вона поглинає за адекватністю всі попередні відомі моделі такого плану, як частинні в певному розумінні. Часткові моделі мають свої переваги в зосередженості уваги на функціонально схемних зв'язках складних економічних структур і технічних систем, тому їх застосування дають простіші й прозоріші розв'язки. Вибір рівня універсальності моделі має ґрунтуватися на меті та можливості розв'язку завдання, що ставить перед собою дослідник. Якщо в цьому аспекті досліджувати одну з нагальних проблем реорганізації ЗРК з метою підвищення ефективності, то побудована модель є однією з найінформативніших, на базі якої можна будувати проектні варіанти оптимізації процесу його функціонування. З допомогою такої моделі можемо надалі здійснювати спроби специфікації моделі взаємозв'язку показників ефективності ЗРК і економічних витрат на їх досягнення при збереженні функціонального взаємозв'язку параметрів системи у цьому ж вигляді, що інтерпретується як обмеження в оптимізаційних процедурах.

Список літератури

1. Бурячок В.Л. Вибір раціонального для модернізації зразка (системи) ОВТ серед сукупності конкуруючих на підставі техніко-економічних коефіцієнтів порівняльного воєнно-економічного аналізу // Зб. наук. пр. ЦНДІ ОВТ ЗС України. – К.: ЦНДІ ОВТ, 2001. – № 7. – С.17–26.
2. Брейполь А. Оптимальное распределение надежности между отдельными элементами // Proc. 7-th Nat. Symp. on Reliability and Quality Control in Electronics. – 1961. – № 1.
3. Оптимальные задачи надежности: Сб. пер./ Под ред. И.А.Ушакова. – М.: Изд-во стандартов, 1968. – 292 с.
4. Фендриков Н.М., Яковлев В.И. Методы расчетов боевой эффективности вооружения. – М.: Воениздат, 1971. – 244 с.
5. Солнышков Д.С. Оптимизация выбора вооружения. – М.: Воениздат, 1968. – 104 с.
6. Корнійчук М.Т. Математические модели оптимизации и оценивания надежности и эффективности функционирования сложных РТС. – К.: КВИРТУ ПВО, 1980. – 280 с.
7. Корнійчук М.Т., Совтус І.К. Стохастичні моделі інформаційних технологій оптимізації надійності складних систем. – К.: КВІУЗ, 2000. – 316 с.
8. Совтус І.К., Овчаров О.О., Капишон В.Г. Узагальнення схемної структури й оцінювання функціональної надійності систем зі стохастичною зв'язністю // Зб. наук. пр. ВІПІ.– К.: ВІПІ НТУУ «КПІ», 2002. – Вип. 3. – С. 175–184.
9. Совтус І.К. Технічні системи обробки економічної інформації: метод оптимізації структури за критерієм мінімуму витрат // Вчені зап. – К.: КНЕУ, 2001. – Вип.3. – С.312–318.

Стаття надійшла до редакції 23.10.02.