

Синергетичний підхід при моделюванні складних марковських процесів

А.В. Андросюк¹, О.С. Савельєва¹, І.І. Становська¹

Summary – The work is devoted to the creation support of decision-making in CAD and CAM information system, based on the synergetic association of different markov models of difficult dynamic systems with reservation possibilities: empirical, semimarkov and morphological.

Key words – markov model, morphological model, dynamic system, synergetic, CAD, CAM.

Основне поняття синергетики – визначення структури як стану, що виникає в результаті різноманітної та неоднозначної поведінки таких багатоелементних структур або багатофакторних середовищ, які не деградують до стандартного для замкнених систем усереднення термодинамічного типу, а розвиваються внаслідок відкритості, припливу енергії ззовні, нелінійності внутрішніх процесів, появи особливих режимів із загостренням і наявності більш одного стійкого стану. При розгляданні марковського процесу як моделі «поведінки» таких структур дослідники зустрічаються з багатьма проблемами, розв'язок яких можна знайти на шляху взаємодії марковських моделей різних видів, оскільки, відповідно до принципів синергетики, коли нелінійні динамічні системи поєднуються, нове об'єднання не дорівнює сумі частин, а утворює систему іншої організації або систему іншого рівня.

Головна проблема моделювання марковських процесів полягає в тому, що кількість станів моделюючої системи і можливих переходів швидко зростає з ростом кількості елементів в ній. Крім того, види існуючих марковських моделей не дозволяють поєднувати стохастичну основу такого підходу із цілком детермінованими подіями, що відбуваються при реальній експлуатації конкретних технічних об'єктів.

Одним з діючих методів підвищення надійності важливих об'єктів є структурне резервування – введення додаткових резервних елементів структури, які при абсолютній надійності елементів початкової системи не є функціонально необхідними [1].

Моделювання життєвого циклу (ЖЦ) таких об'єктів зручніше за все здійснювати за допомогою методів марковського аналізу станів, що використовують діаграму переходів і моделюють аспекти надійності поведінки системи в часі. Головною перевагою застосування таких методів є те, що вони дозволяють легко моделювати багаточисельні стратегії технічного обслуговування. Крім того, за допомогою марковської моделі можна відобразити послідовність багаторазових відмов. На жаль, інші методи аналізу надійності не завжди дозволяють враховувати складні стратегії

технічного обслуговування [2].

Марковська система розглядається як набір елементів, кожний з яких може існувати тільки в одному із двох станів: непрацездатному або працездатному. Структурний аналіз марковських систем ґрунтується на припущенні, що система в цілому може існувати в різних станах, кожний з яких визначається специфічною комбінацією працездатного і непрацездатного станів її елементів [3]. У випадковий момент часу відмова або відновлення хоча б одного елемента призведе до того, що вся система може перейти з одного стану в інший. Найважливішим компонентом такого аналізу є прогнозування ушкоджень структури, тобто «розклад» майбутніх відмов окремих елементів систем з резервуванням. Прогнозуюча модель повинна, при цьому, містити дві основні підмоделі: підмодель прогнозу ушкоджень структури проєктованих (керованих) об'єктів протягом їх життєвих циклів (ЖЦ) і підмодель чисельної оцінки критеріїв надійності цих об'єктів.

Існує багато видів марковських моделей, які можна застосувати для прогнозування та оцінки надійності.

Зокрема, саме для такої мети створювалася емпірико-статистична (ЕС) модель, робота якої побудована на безпосередній оцінці ушкоджень, що відбуваються в об'єкті при його стендових і полігонних випробуваннях [4]. Та попри такий «практичний досвід» прогнозування поелементних ушкоджень, за допомогою цієї моделі, на жаль, неможливо оцінити поточний стан об'єкта в цілому, тим більше, ідентифікувати його відмову.

Напівмарковські (НМ) моделі створені для моделювання дискретних об'єктів у неперервному часі [5], однак для їхнього навчання необхідна інформація, отримана при практичних випробуваннях об'єкта моделювання, що не завжди зручно, особливо, на етапі проєктування об'єкта.

І, нарешті, морфологічні (МО) марковські моделі, які застосовуються для ідентифікації станів складних систем, малоприйнятні для моделювання ЖЦ реальних об'єктів.

Таким чином, марковські моделі є універсальним засобом для вивчення й прогнозування багатьох динамічних процесів. Однак їхнє реальне застосування в багатьох випадках обмежується відсутністю інформації про поведінкові тенденції в розвитку відповідних динамічних систем, а також діючих і, головне, швидкісних методів ідентифікації відмов та інтегральної оцінки надійності пропонованих технічних розв'язків, необхідних як при проєктуванні, так і при керуванні складними об'єктами з резервуванням.

¹ Одеський національний політехнічний університет, просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, УКРАЇНА, E-mail: okssave@mail.ru

Розглянемо структуру складного об'єкта у вигляді n окремих взаємозалежних елементів. Якщо система прийняла стан z , то вона проводить у ньому деякий час, загалом кажучи, випадковий, а потім, внаслідок відмови або відновлення будь-якого елемента, «стрибокподібно» переходить у новий стан. Таким чином, у цьому випадку всі реалізації фазового процесу $\{Z(t)\}$ є кусочно-постійними.

Будемо вважати, що зв'язки є абсолютно надійними, елементи можуть перебувати тільки у двох станах: справному та несправному, система – поглинаюча, тобто вузли, що відмовили, не відновлюються і подальші переходи з них неможливі [3].

Головною особливістю прогнозування експлуатації таких систем з резервуванням є те, що на всіх ітераціях ЖЦ, крім останнього, сумарне ушкодження не призводить до відмови. Таким чином, перед моделлю виникає проблема «призначення» деякої сукупності ушкоджень на кожній ітерації. Природно припустити, що в дійсності нагромадження ушкоджень носить стохастичний характер: не буває двох абсолютно однакових об'єктів (особливості виготовлення), однакових умов їх роботи (особливості експлуатації) і однакових випадковостей, які підстерігають об'єкти.

Розглянемо простий приклад. Нехай в якості об'єкта прийнята деяка система, структура якої складається з $n = 7$ елементів. Початковий стан системи – момент i – характеризується їхньою справністю.

Сукупність переходів на графові можливих станів об'єкта в процесі його експлуатації є множиною варіантів зміни станів системи на одній ітерації ЖЦ.

Потужність цієї множини, навіть для відносно простих об'єктів, надзвичайно велика. Так, у нашому прикладі тільки на першій ітерації перехід до моменту j можна реалізувати 127 способами:

$$S_7 = C_7^1 + C_7^2 + C_7^3 + C_7^4 + C_7^5 + C_7^6 + C_7^7 = 127. \quad (1)$$

Загальна кількість варіантів швидко росте при збільшенні n . Оскільки система має надлишкову структуру, частина $S_{n \text{ відм}}$ цих переходів призведе до відмови системи в цілому, а частина $S_{n \text{ спр}}$ – ні. Очевидно, що

$$S_{n \text{ відм}} + S_{n \text{ спр}} = S_n. \quad (2)$$

На розглянутому в нашому прикладі етапі ЖЦ системи в будь-який момент часу стан i може перейти в стан j , при цьому може відбутися відмова будь-якої комбінації із семи елементів по 1, 2, ..., 6 (переходи $ij_1 - ij_{126}$) і, нарешті, можуть відмовити всі елементи (перехід ij_{127}). Кожний з переходів від i до $j_1 \dots j_{127}$, відповідно, характеризується ймовірностями $p_1 \dots p_{127}$, значення яких визначаються трьома групами факторів:

- внутрішніми властивостями системи (конструкцією елементів і зв'язків, технологічними переходами та ін.);
- умовами зовнішнього середовища (механічні навантаження, температурний вплив та ін.);
- непередбаченими випадковими впливами, джерела яких перебувають як усередині, так і поза системою.

Тут виникають **перше й друге завдання**: визначити

ймовірності $p_1 \dots p_{127}$ і статистичні характеристики часу настання переходів τ_{ji} для реальної системи, яка працює в реальних умовах експлуатації. Ці завдання вирішуються в результаті комплексного застосування ЕС і НМ моделей.

У випадку виходу системи із чергової ітерації в працездатному стані моделювання може бути продовжене від обраного «кореня». Вибір може бути обґрунтований рядом причин і необов'язково відповідати найбільш імовірному переходу.

Тому, у рамках розв'язку **третього завдання**, на кожній ітерації моделювання ЖЦ необхідно вибрати один шлях серед $S_{n \text{ спр}}$ можливих, причому ця величина визначається кількістю елементів та їх характером. Фактично, саме тут вирішується питання про вибір «кореня» подальшої еволюції, оскільки остання може бути продовжена від будь-якого стану з підмножини $S_{n \text{ спр}}$, а потужність цієї підмножини, особливо на початкових стадіях ЖЦ систем з резервуванням, мало відрізняється від потужності множини S_n . Це завдання вирішується в результаті комплексного застосування НМ і МО моделей. Аналогічні міркування можна застосовувати до всіх інших переходів ЖЦ системи: $j \rightarrow (j+1)$; $(j+1) \rightarrow (j+2)$ і т.д., що зберігають працездатність системи в цілому.

Четверте завдання полягає в ідентифікації відмов на послідовних позиціях еволюції системи. Воно вирішується в результаті комплексного застосування ЕС і МО моделей.

І, нарешті, інтегральна оцінка надійності об'єкта здійснюється в рамках розв'язку **п'ятого завдання**. Для цього використовується МО модель, яка базується на обчисленні ентропійного критерію надійності

$$K = - \sum_{i=p_1+1}^{n_2-1} [p_i \log_2 p_i + (1-p_i) \log_2 (1-p_i)], \quad (3)$$

де p_i – ймовірність відмови системи після ушкодження n її елементів. Вона дає можливість оцінити технічний стан системи при діагностиці одним числом.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 408 с.
- [2] Князева Е. Н. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем / Е.Н. Князева, С.П.Курдюмов. – М.: Наука, 1994. – 236 с.
- [3] Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франклин. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
- [4] Балан С.А. Статистические методы прогнозирования жизненного цикла сложных восстанавливаемых технических систем / С.А. Балан, А.Л. Становский, Халиль Ягхи // Труды ОНПУ. – Одесса. – 2000. – Вып. 3. – С. 95 – 98.
- [5] Дышин О.А. Полумарковские модели управления рисками в магистральных газонефтепроводных системах / О.А. Дышин, И.А. Азизов // Электронное моделирование. – 2010. – Т. 32. – № 2. – С. 15 – 30.