

УДК 004.942:62-932.4

О.С. Савельєва, канд. техн. наук, доц.,
В.М. Пурич, канд. техн. наук, доц.,
А.В. Торопенко, магістр,
Одес. нац. політехн. ун-т

МЕТОДИ АДАПТАЦІЇ ЕКСПРЕС-МОДЕЛІ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ ДО УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

О.С. Савельєва, В.М. Пурич, А.В. Торопенко. Методи адаптації експрес-моделі складних об'єктів до умов експлуатації. Запропоновано метод підвищення якості автоматизованого проектування та управління за рахунок використання експрес-моделей структурної надійності складних об'єктів шляхом їх адаптації до реальних умов експлуатації об'єкта моделювання. Одним із засобів для вивчення та прогнозування багатьох динамічних процесів запропоновано марковські моделі.

Ключові слова: складні системи, надійність, інформаційні морфологічні експрес-моделі, інформаційні технології експрес-моделювання, марковські моделі.

О.С. Савельєва, В.Н. Пурич, А.В. Торопенко. Методы адаптации экспресс-модели сложных объектов к условиям эксплуатации. Предложен метод повышения качества автоматизированного проектирования и управления за счет использования экспресс-моделей структурной надежности сложных объектов путем их адаптации к реальным условиям эксплуатации объекта моделирования. Одним из средств для изучения и прогнозирования многих динамических процессов предложены марковские модели.

Ключевые слова: сложные системы, надежность, информационные морфологические экспресс-модели, информационные технологии экспресс-моделирования, марковские модели.

O.S. Savelyeva, V.N. Purich, A.V. Toropenko. Methods for adaptation of the rapid model of complex objects to the operating conditions. A method is proposed for improving the quality of computer-aided design and management through the use of rapid structural reliability models of complex objects by adapting their models to the real conditions of the simulation object. Markov models are proposed as one of the ways to study and predict the many dynamic processes.

Keywords: complex systems, reliability, rapid morphological information models, information technologies of rapid modeling, Markov models.

Аналіз структурної надійності складних систем (СС) із резервуванням і методів її оцінювання в реальному часі під час автоматизованого проектування й управління показав, що сучасні САПР та АСУ нагально потребують створення методів експрес-оцінки структурної надійності, які могли б підтримувати рішення в САПР або в АСУ в умовах неповної та недостатньо достовірної інформації від об'єкта. На жаль, для отримання репрезентативної інформації про структурну надійність реальні об'єкти необхідно створювати та "ганяти" на полігоні в статистично обґрунтованій кількості, а пошкодження в модель об'єкта в САПР вносити десятками тисяч вручну. Ці методи через свою природну граничну повільність неприйнятні для отримання інформації в реальному часі ані в сучасному проектуванні, ані в сучасному управлінні.

Надійність складної системи є стохастичною функцією надійності її окремих елементів [1]. Її оцінювання під час проектування відповідних складних об'єктів та управління їхньою життєдіяльністю під час експлуатації не може обійтися без експерименту: випробування самого об'єкта або визначення параметрів надійності окремих його елементів із наступним обчисленням інтегральної надійності за відомими формулами [2, 3].

Відповідальним компонентом такого оцінювання є визначення структурної надійності, адже пошкодження структури, тобто вибуття з ладу окремих елементів СС найбільш яскраво відбивається на стані СС в цілому [4].

Крім того, для експериментів із структурною надійністю в об'єкт необхідно вносити відповідні зміни (пошкодження), що далеко не завжди припустимо в реальній практиці.

Останнім часом з'явилися роботи, пов'язані із експрес-оцінюванням структурної надійності за допомогою інформаційних морфологічних моделей (ИММ), які ґрунтуються, зокрема, на синергетичному підході до використання марковських моделей різних типів [5, 6]. На жаль, в

таких моделях не враховуються такі поширені події, як відновлення, ремонт, тощо, які відбуваються із складними системами із резервуванням.

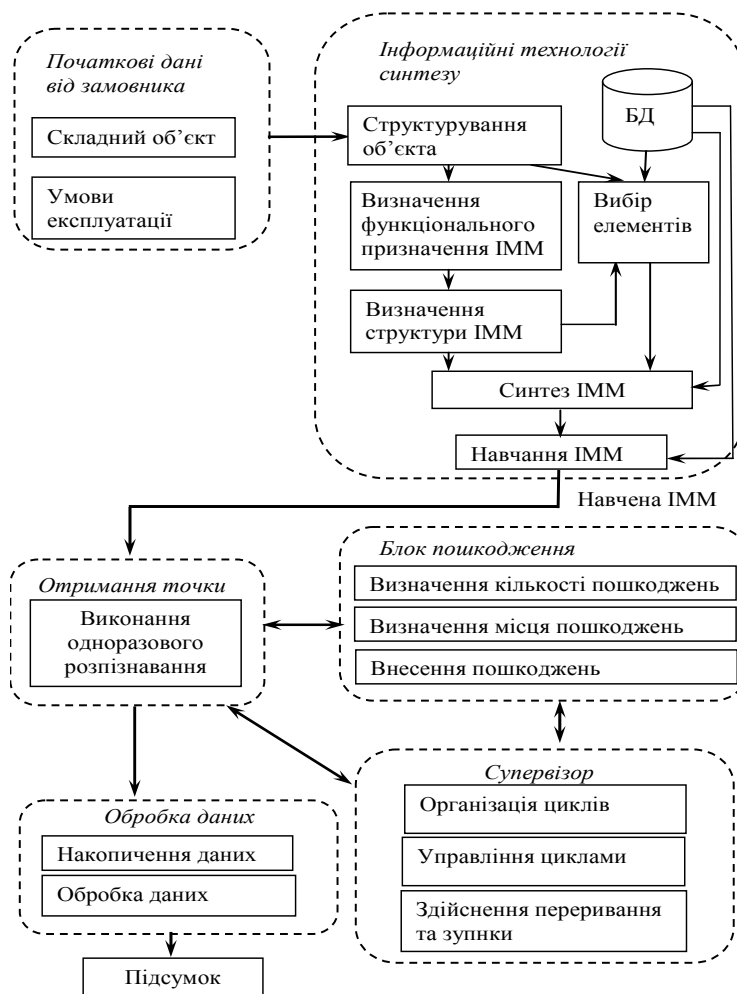


Рис. 1. Структура технології експрес-оцінювання надійності складних об'єктів на основі інформаційних морфологічних моделей

Для підвищення якості автоматизованого проектування та управління пропонується використовувати експрес-модель структурної надійності складних систем, яку адаптовано до реальних умов експлуатації об'єкта моделювання.

Методи адаптації експрес-моделі базуються на інформаційній технології експрес-оцінювання (ІТЕО) структурної надійності складних об'єктів (рис. 1).

В проектуванні ІТЕО використовується при виборі найбільш надійного варіанта структури (рис. 2, а), а в управлінні — при розрахунках показника, значення якого необхідно підтримувати на заданому рівні (рис. 2, б).

Для швидкого оцінювання структурної надійності СС запропоновано алгоритм проектування на основі ІТЕО [5]. Однак, для проектування та управління СС інформаційної морфологічної експрес-моделі структурної надійності буває замало. Необхідно мати також моделі, які можуть прогнозувати стан СС на протязі її життєвого циклу. Йдеться про прогноз пошкоджень та відновлень структури, які, як відомо, залежать не тільки від самої системи, а також і від умов її експлуатації.

Моделювання життєвого циклу складних систем зручніше за все здійснювати за допомогою методів марковського аналізу станів, що використовують діаграми переходів, моделюючих аспекти надійності поведінки системи в часі [6]. Головною перевагою таких методів є те, що вони дозволяють моделювати різні стратегії технічного обслуговування. Крім того, в марковській моделі можна відбити порядок, в якому відбуваються багаторазові відмови.

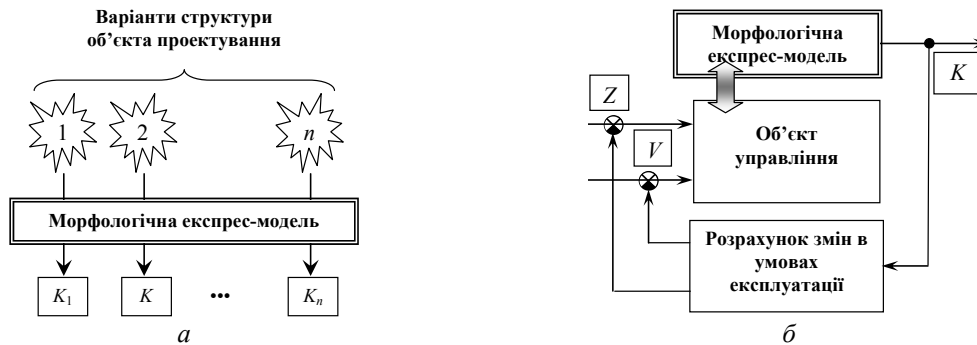


Рис. 2. Схеми застосування морфологічних експрес-моделей в проектуванні (а) та управлінні (б): K — ентропійний показник; Z — зовнішні, V — внутрішні умови експлуатації

Марковська складна система розглядається як набір елементів, кожний з яких може існувати тільки в одному із двох станів: нероботоздатному або роботоздатному. Структурний аналіз марковських систем ґрунтується на тому припущенні, що система в цілому може існувати в різних станах, кожний з яких визначається специфічною комбінацією роботоздатного та нероботоздатного станів її елементів.

У випадковий момент відмови або відновлення хоча б одного елемента вся система може перейти з одного стану в наступний за часом. Найважливішим компонентом такого аналізу є прогноз ушкоджень структури, що є "розкладом" майбутніх відмов окремих елементів систем, які резервуються. Прогнозуюча модель повинна при цьому містити дві основні підмоделі: підмодель прогнозу ушкоджень структури проєктованих (керованих) об'єктів протягом їхніх життєвих циклів (ЖЦ) і підмодель чисельної оцінки показників надійності цих об'єктів.

Існує багато видів марковських моделей, частина яких найбільше підходить для прогнозування та оцінки надійності [1, 2]. Зокрема, саме для цього створено емпірико-статистичну (ЕС) модель, робота якої побудована на безпосередній оцінці ушкоджень, які відбуваються в об'єкті при його стендових і полігонних випробуваннях. Маючи великий практичний досвід прогнозування ушкоджень елементів, така модель, на жаль, не може оцінити поточний стан об'єкта в цілому, тим більше, ідентифікувати його відмову.

Напівмарковські (НМ) моделі створені для моделювання дискретних об'єктів у неперервному часі, 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 застосовні при ідентифікації станів складних систем, але мало придатні для моделювання ЖЦ реальних об'єктів.

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, стрибкоподібно переходить у новий стан. Таким чином, у цьому випадку всі реалізації фазового процесу $\{Z(t)\}$ є кусочно-постійними. Будемо вважати також зв'язки абсолютно надійними, а елементи такими, що можуть перебувати тільки у двох станах: справному та несправному. Прийmemo також, що система поглинаюча, тобто вузли, що відмовили, не відновлюються і подальші переходи з них неможливі.

Головною особливістю прогнозування експлуатації таких систем з резервуванням є те, що на всіх ітераціях ЖЦ, крім останнього, сумарне пошкодження не призводить до відмови, отже, перед моделлю виникає проблема призначення деякої сукупності пошкоджень на кожній такій ітерації. В реальному житті нагромадження пошкоджень носить стохастичний характер: не буває двох зовсім однакових об'єктів (особливості виготовлення), однакових умов їх роботи (особливості експлуатації) і однакових випадковостей, що підстерігають об'єкти.

Тут виникають перша та друга задачі: визначити імовірності і статистичні характеристики часу настання переходів для реальної системи, що працює в реальних умовах експлуатації. Ці задачі розв'язуються в результаті комплексного застосування ЕС і НМ моделей.

У випадку виходу системи із чергової ітерації в роботоздатному стані моделювання може бути продовжене від обраного кореня (рис. 3).

Вибір може бути обґрунтований рядом причин і не обов'язково відповідати найбільш імовірному переходу. Тому у рамках розв'язання третьої задачі на кожній ітерації моделювання ЖЦ необхідно вибрати один шлях серед можливих, причому цей вибір визначається кількістю елементів і характером останніх. Фактично, саме тут розв'язується питання про вибір кореня подальшої еволюції, оскільки вона може бути продовжена від будь-якого стану з підмножини справних, а потужність цієї підмножини, особливо на початкових стадіях ЖЦ резервованих систем, мало відрізняється від потужності множини існуючих.

Ця задача розв'язується 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 роботоздатність системи в цілому.

Четверта задача полягає в ідентифікації відмови на послідовних позиціях еволюції системи. Ці задачі розв'язуються в результаті комплексного застосування ЕС і МО моделей.

І, нарешті, інтегральна оцінка надійності об'єкта здійснюється в рамках розв'язання п'ятої задачі. Для цього використовується МО модель (табл. 1).

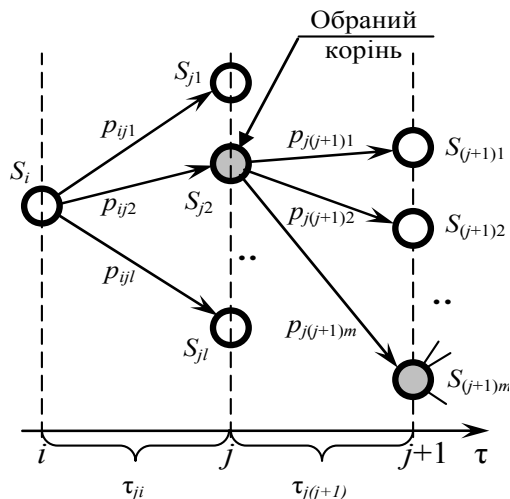


Рис. 3. Схема можливих рухів системи по ітераціях життєвого циклу

Таблиця 1

Використання марковських моделей різних типів для розв'язання задач інформаційної експрес-підтримки структурного проектування та управління

№	Зміст задачі	Застосовувані моделі		
		ЕС	НМ	МО
1	Визначення ймовірностей переходів	+	+	-
2	Визначення часу переходів	+	+	-
3	Вибір "кореня" наступного переходу	-	+	+
4	Ідентифікація відмови	+	-	+
5	Інтегральна оцінка надійності	-	-	+

Порівняльна характеристика методів проектування надійності об'єктів і їх орієнтовна часова складність наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Методи проектування надійності об'єктів та їх орієнтовна часова складність

№№ пп	Етап моделювання	Традиційний метод		За допомогою ІТЕО	
		Метод	Часова складність	Метод	Часова складність
1	Генерування варіанту структури	Емпіричний	1 год	Емпіричний	1 год
2	Багатоцільова оптимізація параметрів елементів	Аналітичний	8 год	Навчання ІТЕО	0,5 год
3	Прогнозування пошкодження об'єкту під час експлуатації	Марковська модель	30 год	ІТЕО	1 год
4	Визначення показнику надійності	Autodesk Inventor	60 год	ІТЕО	1 год
5	Корегування структури об'єкта	Емпіричний	1 год	Емпіричний	1 год
	Всього:		100 год		4,5 год

Таким чином, марковські моделі є універсальним засобом для вивчення і прогнозування багатьох динамічних процесів. Однак їх реальне застосування в багатьох випадках обмежується відсутністю інформації про поведінкові тенденції в розвитку відповідних динамічних систем, а також діючих і, головне, швидкопрацюючих методів ідентифікації відмов та інтегральної оцінки надійності пропонувані технічних рішень, необхідних як при проектуванні, так і при керуванні складними резервованими об'єктами. Отримати такі оцінки дозволить тверда прив'язка структури IMM до структури СС, що моделюється.

Література

1. Острейковский, В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский. — М. : Высшая школа, 2003. — 408 с.
2. Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин. — СПб.: Политехника, 2000. — 302 с.
3. Барлоу, Р. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан. — М.: Наука, 1984. — 345 с.
4. Кочкаров, А.А. Обеспечение стойкости сложных систем. Структурные аспекты / А.А. Кочкаров, Г.Г. Малинецкий: Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science. — М., 2005. — 32 с.
5. Савельева, О.С. Экспресс-модель надежности сложных систем в САПР / О.С. Савельева // Пр. Одес. політехн. ун-ту. — Одеса, 2011. — Вип. 2 (36). — С. 174 — 178.
6. Оборский, Г.А. Синергетический подход в моделировании марковских процессов / Г.А. Оборский, О.С. Савельева, Н.А. Котенко // Пр. Одес. політехн. ун-ту. — Одеса, 2011. — Вип. 1 (35). — С. 164 — 168.

References

1. Ostreykovskiy, V.A. Teoriya nadezhnosti [Reliability theory] / V.A. Ostreykovskiy. — Moscow, 2003. — 453 p.
2. Ryabinin, I.A. Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnykh sistem [Reliability and safety of structurally complex systems] / I.A. Ryabinin. — St.Petersburg, 2000. — 302 p.
3. Barlou, R. Statisticheskaya teoriya nadezhnosti i ispytanie na bezotkaznost' [Statistical theory of reliability and infallibility test] / R. Barlou, F. Proshan. — Moscow, 1984. — 345 p.
4. Kochkarov A.A. Obespechenie stoykosti slozhnykh sistem. Strukturnye aspekty [Ensuring the stability of complex systems. Structural aspects] / A.A. Kochkarov, G.G. Malinetskiy: Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science. — Moscow, 2005. — 32 p.
5. Savel'yeva, O.S. Ekspress-model' nadezhnosti slozhnykh sistem v SAPR [Express-model of reliability of complex systems in CAD] / O.S. Savel'yeva // Pratsi OPU [Proceedings of ONPU]. — Odessa, 2011. — V. 2 (36). — pp. 174 — 178.
6. Oborskiy, G.A. Sinergeticheskii podkhod v modelirovanii markovskikh protsessov [Synergetic approach in the simulation of Markov processes] / G.A. Oborskiy, O.S. Savel'yeva, N.A. Kotenko // Pratsi OPU [Proc. of ONPU]. — Odessa, 2011. — V. 1 (35). — pp. 164 — 168.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Становський О.Л.

Надійшла до редакції 12 липня 2013 р.