УДК 519.718.2

Визначення довговічності нерезервованої системи з поелементно-загальною стратегією ремонтів на основі ациклічної марковської моделі

Сергій Щербовських[1], Орест Лозинський[2]

[1] к. т. н., Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013,
e-mail: shcherbov@polynet.lviv.ua
[2] д. т. н., професор, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013,
e-mail: olozynsky@polynet.lviv.ua

Для визначення показників довговічності нерезервованих систем удосконалено метод автоматизованого формування моделей надійності. Метод полягає у розкладанні циклічної марковської моделі на складники, із яких далі формуємо багатовимірну ациклічну марковську модель. Кількість вимірів такої моделі дорівнює кількості елементів у системі. Для нерезервованої системи із поелементно-загальним ремонтуванням сформовано її двовимірну ациклічну марковську модель та визначені характеристики довговічності.

Ключові слова: модель надійності, марковська модель, нерезервована система, гамма-процентний ресурс.

Вступ. Забезпечення заданих показників довговічності для нерезервованих технічних систем є один з аспектів, якому надають увагу як на етапі проектування, так і під час їх експлуатування. Під довговічністю розуміють властивість системи виконувати усі потрібні функції до переходу у граничний стан за встановленого технічного обслуговування та ремонтування. Граничним станом системи вважаємо такий стан, за якого відновлення її працездатності недопустиме чи недоцільне. Тобто, під час експлуатування нерезервована система, внаслідок відмов і відновлень її елементів, переходить через задану кількість працездатних станів і опиняється у граничному непрацездатному стані. Довговічність характеризують ресурсом, який є сумарним напрацюванням системи від початку її експлуатування до переходу у граничний стан.

Стаття стосується проблеми визначення таких характеристик довговічності як гамма-процентний ресурс, інтенсивність відмов і розподіл за відмовами для нерезервованої системи з поелементно-загальною стратегією ремонтування. При цьому використаємо багатовимірну ациклічну розширену марковську модель системи.

Практичний аспект розв’язування проблеми забезпечує підвищення точності прогнозування показників довговічності нерезервованих систем із різними стратегіями ремонтування, а теоретичний — подальший розвиток методів автоматизованої побудови марковських моделей надійності для опису процесів напрацювання та ремонтування, які протікають у багатоелементних системах.

1. Аналіз останніх досліджень

Для визначення показників довговічності систем виділяємо такі основні підходи. У працях [1, 2] їх оцінювання проводять аналогічно до оцінювання показників безвідмовності. Цей підхід ґрунтується на застосуванні моделей ресурсу елементів системи, які апріорно поєднують у собі моделі відмов і відновлення таких елементів. Основними недоліками підходу є складність синтезу моделей ресурсу елементів системи, жорстке прив'язування такої моделі до заданої стратегії технічного обслуговування, неможливість коректного врахування взаємного впливу елементів системи на характеристики надійності системи загалом, неможливість визначення функції ймовірності розподілу за відмовами. У монографії [3] показники довговічності пропонують оцінювати статистичними методами на основі аналізу попереднього періоду напрацювання. Недолік статистичного аналізу полягає в тому, що для отримання достовірних значень показників довговічності необхідно провести тривалі тестування з великим обсягом вибірки. Це забезпечує високу достовірність результату, проте економічно недоцільне. Для визначення функції розподілу ймовірності за відмовами застосовують моделі на основі неоднорідного пуассонівського процесу (NHPP) [4] та методу Монте-Карло [5]. Загальним недоліком обох підходів є відсутність теоретичної основи для визначення інших показників довговічності, а для NHPP ще й відсутність однозначного методу, який пов'язує між собою параметри моделі ресурсу та параметри моделей відмов і відновлення.

Найперспективнішим підходом для визначення усього класу показників довговічності є застосування марковських моделей [6-9]. Проте основна складність, що стримує широке застосування таких моделей, полягає у їх громіздкості.

Завдання роботи:

- розробити у загальній формі метод побудови багатовимірної ациклічної марковської моделі системи, застосовуючи циклічну марковську модель;
- для нерезервованої системи з поелементно-загальним ремонтуванням, застосовуючи багатовимірну ациклічну марковську модель, визначити гамма-процентний ресурс, інтенсивність відмов і розподіл за відмовами.

2. Побудова багатовимірних марковських моделей

Марковською моделлю надійності є система диференціальних рівнянь Колмогорова, яку у векторно-матричній формі запису подають структурною схемою (рис. 1) або матричною системою рівнянь вигляду

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{p}}(t) = \mathbf{A}\,\mathbf{p}(t), \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{p}(t), \end{cases}$$

де t — напрацювання системи; $\mathbf{p}(t)$ — вектор-стовпець ймовірностей фаз; $\mathbf{A}$ — матриця інтенсивності переходів між фазами; $\mathbf{y}(t)$ — матриця характеристик системи; $\mathbf{C}$ — матриця перетворення.

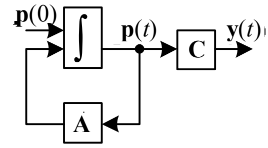

Рис. 1. Структурна схема векторно-матричної форми

Систему диференціальних рівнянь доповнимо вектор-рядком $\mathbf{p}(0)$, що задає початкові ймовірності фаз. Вектор внутрішніх змінних інтегрування $\mathbf{p}(t)$, який містить функції ймовірності фаз, визначаємо шляхом інтегрування зворотного від'ємного сигналу з пропорційної ланки із матричним параметром $\mathbf{A}$. Вихідний сигнал $\mathbf{y}(t)$, який містить характеристики надійності, визначають як пряме перетворення вектора $\mathbf{p}(t)$ пропорційною ланкою з матричним параметром $\mathbf{C}$. Формування макровської моделі зводиться до визначення матриці інтенсивності переходів $\mathbf{A}$, матриці перетворення $\mathbf{C}$, а також вектора початкових ймовірностей фаз $\mathbf{p}(0)$, які задають початковий стан матричного інтегратора. Також таку модель можна подати у графічній формі — діаграмою станів і переходів, яка однозначно зв'язана з $\mathbf{A}$, $\mathbf{C}$ та $\mathbf{p}(0)$.

Якщо досліджують безвідмовність системи, то застосовують марковську модель, яка враховує вплив лише відмов. Якщо досліджують готовність системи, то застосовують марковську модель, яка враховує вплив як відмов, так і відновлення. Така модель є циклічна та передбачає наявність нескінченної кількості взаємних переходів. Для дослідження довговічності системи марковська модель повинна врахувати обмежену кількість відновлень за кожним із її елементів. Для цього переходи, які відповідають відновленню, переводять систему не у вихідні фази, а у множину наступних, тому модель є ациклічна. Такий тип моделей є складніший за попередні, адже вони поєднують поряд із новими усі попередні властивості. Навіть для простих випадків нерезервованих систем ациклічні моделі є громіздкі та потребують застосування спеціалізованого математичного та програмного забезпечення для їх автоматизованої побудови й аналізу.

Під час дослідження показників довговічності систем прийнято для кожного з її елементів будувати свою ациклічну марковську модель у формі ланцюга. Виконані дослідження показали, що такий підхід забезпечує коректний результат лише для одноелементних об'єктів [10]. Для адекватного моделювання систем, які містять елементи з довільними моделями відмов, необхідно застосовувати багатовимірні ланцюги, зокрема, для системи із двох елементів — двовимірний ланцюг, для системи із трьох елементів — тривимірний і т. д. Без обмеження загальності, подальші теоретичні викладки подані лише для двовимірного випадку.

Формально, завдання математичного забезпечення полягає у визначенні невідомих матриць $\mathbf{A}_A$, $\mathbf{C}_A$, $\mathbf{p}_A(0)$ ациклічної моделі на основі заданих матриць циклічної моделі — $\mathbf{A}$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{p}(0)$ і кількості відмов за кожним з елементів k_1, k_2, … Формування двовимірної ациклічної моделі здійснюємо у два етапи. На першому етапі створюємо одновимірну ациклічну марковську модель $\mathbf{A}_{A1}$, $\mathbf{C}_{A1}$, $\mathbf{p}_{A1}(0)$ (рис. 2*a*)

$$\mathbf{A}_{A1} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_I & \mathbf{A}_Z & \dots & \mathbf{A}_Z \\ \mathbf{A}_{E1} & \mathbf{A}_I & \dots & \mathbf{A}_Z \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{A}_Z & \mathbf{A}_Z & \dots & \mathbf{A}_Z \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_{A1} = \begin{bmatrix} \mathbf{C} & \mathbf{C} & \dots & \mathbf{C}_Z \end{bmatrix}, \quad \mathbf{p}_{A1}(0) = \begin{bmatrix} \mathbf{p}(0) \\ \mathbf{p}_Z \\ \dots \\ \mathbf{p}_Z \end{bmatrix}, \tag{1}$$

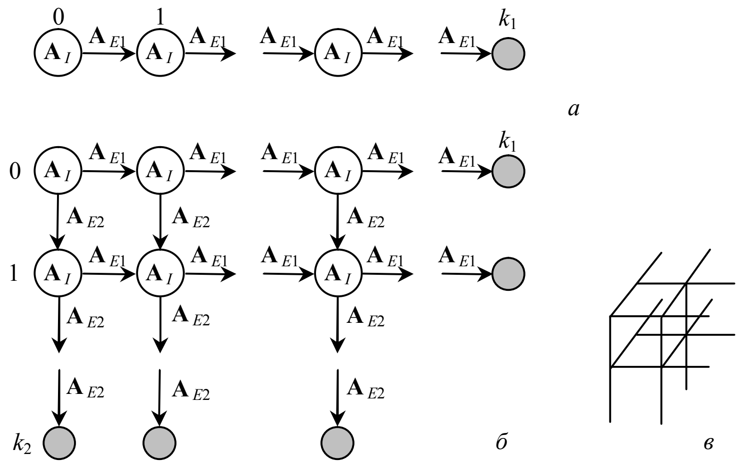

Рис. 2. Узагальнені одно-, дво- та тривимірні ациклічні діаграми станів і переходів

де $\mathbf{A}_I$ — матриця інтенсивності внутрішніх переходів; $\mathbf{A}_{E1}$ — матриця інтенсивності зовнішніх переходів для першого елемента; $\mathbf{A}_Z$ — нульова матриця, розмірність якої дорівнює розмірності матриці $\mathbf{A}$; $\mathbf{C}_Z$ — нульовий вектор-рядок розмірності $\mathbf{C}$; $\mathbf{p}_Z$ — нульовий вектор-стовпець розмірності $\mathbf{p}(0)$.

Розмірність моделі (1), зведена до розмірності циклічної, є $(k_1 + 1)$. Оскільки останній стан граничний, тому $(k_1 + 1)$-ий стовпець матриці $\mathbf{A}_{A1}$ і $(k_1 + 1)$-ий елемент вектор-рядка $\mathbf{C}_{A1}$ містять лише нульові елементи. У початковий момент система перебуває у стані, який відповідає відсутності відмов, а тому усі елементи вектор-стовпця $\mathbf{p}_{A1}(0)$, окрім першого, є нульові.

Другий етап полягає у формуванні власне двовимірної ациклічної моделі $\mathbf{A}_A$, $\mathbf{C}_A$, $\mathbf{p}_A(0)$ на основі одновимірної моделі $\mathbf{A}_{A1}$, $\mathbf{C}_{A1}$, $\mathbf{p}_{A1}(0)$ (1) (рис. 2*б*)

$$\mathbf{A}_A = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{A1} & \mathbf{A}_{Z1} & \dots & \mathbf{A}_{Z1} \\ \mathbf{A}^*_{E2} & \mathbf{A}_{A1} & \dots & \mathbf{A}_{Z1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{A}_{Z1} & \mathbf{A}_{Z1} & \dots & \mathbf{A}_{Z1} \end{bmatrix}, \ \mathbf{C}_A = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{A1} & \mathbf{C}_{A1} & \dots & \mathbf{C}_{Z1} \end{bmatrix}, \ \mathbf{p}_A(0) = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_{A1}(0) \\ \mathbf{p}_{Z1} \\ \dots \\ \mathbf{p}_{Z1} \end{bmatrix}, \qquad (2)$$

де $\mathbf{A}^*_{E2}$ — зведена матриця інтенсивності зовнішніх переходів для другого елемента; $\mathbf{A}_{Z1}$ — нульова матриця, розмірність якої дорівнює розмірності матриці $\mathbf{A}_{A1}$; $\mathbf{C}_{Z1}$ — нульовий вектор-рядок розмірності $\mathbf{C}_{A1}$; $\mathbf{p}_{A1}$ — нульовий вектор-стовпець розмірності $\mathbf{p}_{Z1}(0)$.

Розмірність моделі (2), зведена до розмірності моделі (1), є $(k_2 + 1)$. Модель (2) формуємо подібно до моделі (1), застосовуючи замість $\mathbf{A}_I$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{p}(0)$ визначені вище відповідно $\mathbf{A}_{A1}$, $\mathbf{C}_{A1}$, $\mathbf{p}_{A1}(0)$. Зведену матрицю $\mathbf{A}^*_{E2}$ формуємо розміщенням у її діагональних елементах (окрім останнього) матриць інтенсивності зовнішніх переходів $\mathbf{A}_{E2}$

$$\mathbf{A}_{E2}^{*} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{E2} & \mathbf{A}_{Z} & \dots & \mathbf{A}_{Z} \\ \mathbf{A}_{Z} & \mathbf{A}_{E2} & \dots & \mathbf{A}_{Z} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{A}_{Z} & \mathbf{A}_{Z} & \dots & \mathbf{A}_{Z} \end{bmatrix}.$$

У такій матриці останній діагональний елемент є нульовий, оскільки переходи між граничними станами неможливі. Зведення полягає у формуванні матриці, розмірність якої прийнятна до застосування у моделі (2). Зокрема, у цьому випадку розмірність $\mathbf{A}_{E2}^{*}$, зведена до розмірності циклічної моделі, складає $(k_1 + 1)$. Якщо кількість елементів у системі є три та більше, то, застосовуючи вирази (1) і (2), формується тривимірна (рис. 2*в*, схематичне зображення) та більш вимірні ациклічні моделі. Згідно наведеного методу авторами розроблено математичне та програмне забезпечення, яке синтезує ациклічні марковські моделі для систем із довільною кількістю елементів. Матриці інтенсивності внутрішніх $\mathbf{A}_I$ та зовнішніх переходів $\mathbf{A}_{E1}$, $\mathbf{A}_{E2}$, ... є елементами розкладу матриці інтенсивності переходів циклічної моделі $\mathbf{A}$, тобто

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_I + \left(\mathbf{A}_{E1} + \mathbf{A}_{E2} + \dots\right).$$

Такий розклад залежить від структури, алгоритму функціонування системи та характеристик, які необхідно дослідити.

3. Модель надійності нерезервованої системи

Визначимо на основі наведеного методу показники довговічності нерезервованої системи з поелементно-загальним ремонтуванням, яка функціонує за таким алгоритмом. У початковий момент часу система, що містить два елементи, перебуває у працездатному стані S (рис. 3), в якому обидва елементи працездатні.

Напрацювання першого елемента системи розподілено за моделлю відмов $R_1(t)$, а другого — за моделлю відмов $R_2(t)$. Внаслідок відмови одного з елементів система покидає цей стан. Вважаємо, що засоби технічного діагностування й обслуговування ідеальні, а тому відмова елемента миттєво визначається й усувається. Якщо відмовляє перший елемент, то замінюють обидва елементи на нові. Якщо відмовляє другий — то замінюють лише його, а перший елемент продовжує функціонувати далі. Система після покидання стану S миттєво повертається назад у нього. Після повернення в одному випадку обидва елементи є нові, а в іншому — лише один новий, а інший має певне напрацювання.

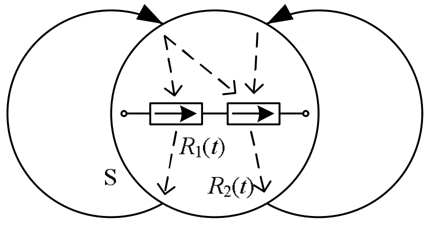

Рис. 3. Діаграма станів і переходів нерезервованої відновлюваної системи з поелементно-загальним ремонтуванням

Порівняно з поелементним ремонтуванням, така стратегія забезпечує вищу надійність, проте дорожча у застосуванні.

Щоб побудувати марковську модель розкладемо моделі відмов $R_1(t)$ та $R_2(t)$ у розподіли фазового типу. Зміст такого перетворення подібний до розкладання у ряд Тейлора. Порядок фазової моделі, який визначається кількістю членів у розкладі, вибираємо з умови забезпечення заданої точності. У роботі прийнято, що модель відмов першого елемента $R_1(t)$ розкладено у фазову модель третього порядку з параметрами c_{31}, c_{21}, c_{11}, c_{01} і λ_1, а модель другого $R_2(t)$ — другого порядку з параметрами c_{22}, c_{12}, c_{02} та λ_2. Для такої системи відома циклічна марковська модель $\mathbf{A}, \mathbf{C}, \mathbf{p}(0)$, діаграму станів і переходів якої наведено на рис. 4. Детальніше про формування марковських моделей надійності на основі розширення простору станів подано у праці [7], а про розподіли фазового типу — в роботі [11]. Ґрунтуючись на поданому вище описі відновлюваної нерезервованої системи з поелементно-загальним ремонтуванням, сформуємо її марковську модель на основі розширення простору станів (рис. 4). Матрицю інтенсивності переходів $\mathbf{A}$ розкладаємо на складники. Переходи, що відповідають напрацюванню обох елементів системи, конфігурацію яких зображено на рис. 5*а*, утворюють матрицю інтенсивності внутрішніх переходів $\mathbf{A}_I$. Переходи, які відповідають відмові першого елемента (рис. 5*б*), утворюють першу матрицю інтенсивності зовнішніх переходів $\mathbf{A}_{E1}$, а переходи, що відповідають відмові другого елемента (рис. 5*в*), — другу $\mathbf{A}_{E2}$.

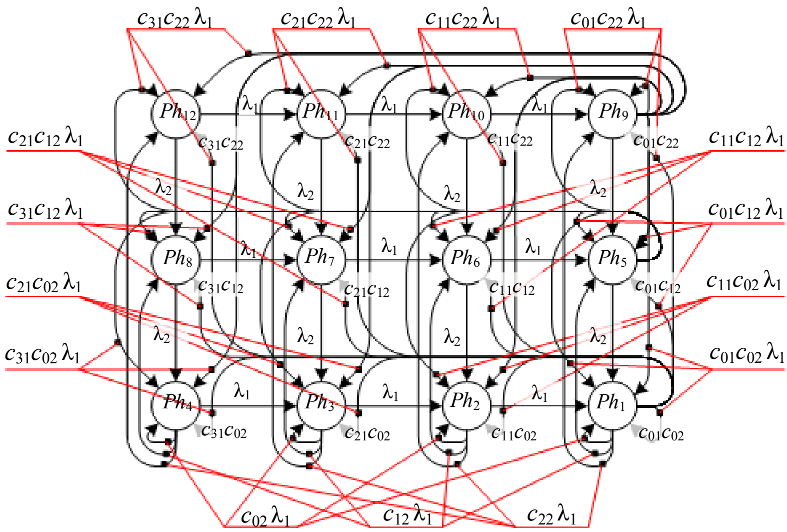

Рис. 4. Циклічна діаграма станів і переходів нерезервованої системи
з поелементно-загального ремонтування на основі розширення простору станів

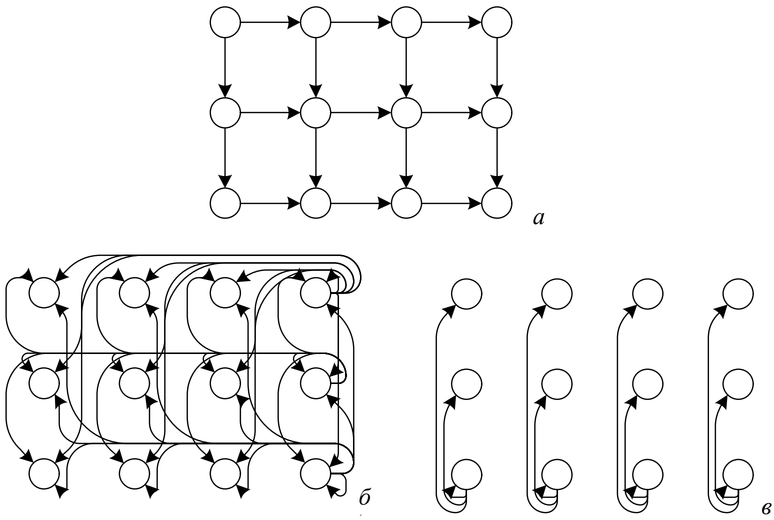

Рис. 5. Циклічна діаграма станів і переходів нерезервованої системи з поелементно-загальним ремонтуванням і її складники, що використовуються для побудови ациклічної моделі надійності

Застосовуючи розроблене математичне та програмне забезпечення, сформовано двовимірну ациклічну марковську модель нерезервованої системи з поелементно-загальним ремонтуванням, яка до переходу системи у граничний непрацездатний стан передбачає 6 капітальних ремонтів для першого елемента та 5 для другого. Розмірність отриманої моделі n визначаємо так

$$n = n_{Ph}\, n_{k1}\, n_{k2} = 12\,(6+1)\,(5+1) = 504\,,$$

де n_{Ph} — кількість фаз у циклічній марковській моделі надійності, n_{k1} — кількість відмов за першим елементом з урахуванням граничного стану, n_{k2} — кількість відмов за другим елементом.

За отриманою моделлю, шляхом чисельного інтегрування штивним методом з адаптивним кроком, розраховано функції, що характеризують довговічність системи. Зокрема, на рис. 6*а* та *б* наведені функція густини розподілу відмов $f(t)$ та функція ймовірності безвідмовної роботи $R(t)$ (суцільні лінії 1). Для перевірки достовірності результату за відповідною циклічною марковською моделлю визначено показники надійності системи за умови нескінченної кількості відновлень за кожним з елементів. Для порівняння на рис. 6*а* та *б* наведені функція інтенсивності потоку відмов і функція готовності (штрихові лінії 2). На проміжку, що відповідає нормальному експлуатуванню досліджуваної системи, криві характеристик довговічності та готовності накладаються одна на одну. Це підтверджує достовірність запропонованого методу автоматизованого синтезу багатовимірних ациклічних марковських моделей.

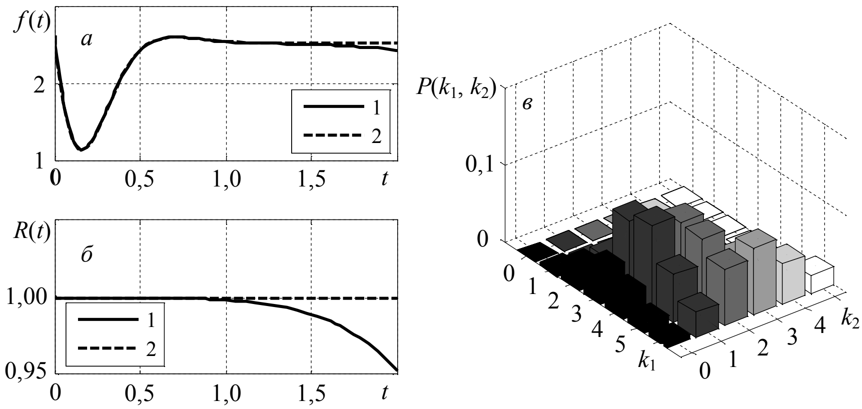

Рис. 6. Криві характеристик довговічності та діаграма розподілу ймовірності за відмовами для нерезервованої системи з поелементно-загальним ремонтуванням

Згідно функції ймовірності безвідмовного функціонування системи визначаємо гамма-відсотковий ресурс T_γ для стандартних значень ймовірності γ та інтенсивність відмов для визначених значень гамма-відсоткового ресурсу (табл. 1).

На рис. 6*в* зображено дискретну діаграму функції розподілу ймовірності за кількістю відмов елементів системи $P(k_1, k_2)$ для заданого значення напрацювання. Оскільки за обраної стратегії ремонтування після відмови першого елемента відбувається відновлення обох, то під час визначення $P(k_1, k_2)$ необхідно додатково виконати операцію зміщення

$$\begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1^* \\ k_2^* \end{bmatrix},$$

де k_1^*, k_2^* — номери рядків функції розподілу, отриманої за ациклічною марковською моделлю; k_1, k_2 — номери рядків функції розподілу ймовірності за відмовами для досліджуваної нерезервованої системи.

Таблиця 1

Показники довговічності нерезервованої системи
з поелементно-загальним ремонтуванням

№	Ймовірність γ	Гамма-відсотковий ресурс T_γ, відносні одиниці напрацювання	Інтенсивність відмов, відмови / відносні одиниці напрацювання
1	0,99	1,48	2,30
2	0,98	1,70	2,60
3	0,95	2,02	2,65
4	0,90	2,30	2,93

Зміст операції зміщення полягає у додаванні тих ймовірностей, які відповідають одній і тій же ж кількості відмов елементів. Для цієї системи, враховуючи особливість типу ремонтування, діаграма розподілу (рис. 6*в*) є трикутна. Для перевірки достовірності результату функцію розподілу ймовірності за відмовами визначено методом Монте-Карло [5]. Результати, одержані на основі ациклічної марковської моделі та методом Монте-Карло, співпадають у межах статистичної помилки, що підтверджує коректність отриманих у роботі результатів.

Висновки. Удосконалено метод автоматизованого перетворення циклічних марковських моделей у багатовимірні ациклічні марковські моделі для випадку, якщо напрацювання складових елементів розподілене за довільними законами розподілу. Моделі надійності систем, сформовані за таким методом, адекватно враховують різні стратегії ремонтування. Розроблено багатовимірну ациклічну марковську модель надійності для відновлюваної нерезервованої системи з поелементно-загальним ремонтуванням, за якою визначені показники довговічності системи, зокрема, функцію ймовірності безвідмовної роботи, функцію густини розподілу відмов, гамма-відсотковий ресурс, інтенсивність відмов і розподіл ймовірності за відмовами.

Література

[1] *Okasha, N. M.* Redundancy of structural systems with and without maintenance: An approach based on lifetime next term functions / *N. M. Okasha, D. M. Frangopol* // Reliability Engineering & System Safety. — 2010. — Vol. 95, Issue 5. — P. 520-533.

[2] *Hutto, D. E.* Analysis of reliability using masked system life data / *D. E. Hutto, T. Mazzuchi, S. Sarkani* // International Journal of Quality & Reliability Management. — 2009. — Vol. 26, Issue 7. — P. 723-739.

[3] *Буртаев, Ю. Ф.* Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации / *Ю. Ф.* Буртаев, *В. А. Острейковский.* — Москва: Энергоатомиздат, 1995. — 240 с.

[4] *Krivtsov, V.* Practical extensions to NHPP application in repairable system reliability analysis / *V. Krivtsov* // Reliability Engineering & System Safety. — 2007. — Vol. 92, Issue 5. — P. 560-562.

[5] *Хенли, Э. Дж.* Надежность технических систем и оценка риска: пер. с англ. / *Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото.* — Москва: Машиностроение, 1984. — 528 с.

[6] *Волочій, Б. Ю.* Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем / *Б. Ю. Волочій.* — Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2004. — 220 с.

[7] *Lozynsky, O. Yu.* Failure intensity determination using Markov reliability model for renewal non-redundancy systems / *O. Yu. Lozynsky, S. V. Shcherbovskykh* / Przeglad Elektrotechniczny. — 2009. — Vol. 85, No 4. — P. 89-91.

[8] *Лозинський, О. Ю.* Побудова моделей надійності ремонтованих електромеханічних об’єктів на основі розширення простору станів / *О. Ю. Лозинський, С. В. Щербовських* // Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут». — 2005. — № 45. — С. 77-81.

[9] *Ghasemi, A.* Evaluating the reliability function and the mean residual life for equipment with unobservable states / *A. Ghasemi*, *S. Yacout*, *M.-S. Ouali* // Reliability, IEEE Transactions on. — 2010. — Vol. 59, Issue 1. — P. 45-54.

[10] *Лозинський, О. Ю.* Розрахунок параметра потоку відмов відновлюваного об’єкта з урахуванням тривалості ремонтів / *О. Ю. Лозинський, С. В. Щербовських* // Фіз.-мат. моделювання та інформ. технології. — 2009. — Вип. 9. — С. 92-99.

[11] *Perez-Ocon, R.* Transient analysis of a repairable system, using phase-type distributions and geometric processes / *R. Perez-Ocon, D. Montoro-Cazorla* // Reliability, IEEE Transactions on. — 2004. — Vol. 53, Issue 2. — P. 185-192.

Reliability determination for non-redundancy system with whole-component-wise repair strategy based on acyclic Markov model

Serhiy Shcherbovskykh, Orest Lozynsky

The method of automated reliability model construction for durability index determination is advanced. The method consists in the cyclic Markov model decomposition into components which are later used for assembling a multidimensional acyclic Markov model. A number of measuring is equal to the component number in the system. For the whole-component-wise non-redundancy system the two-dimensional acyclic reliability model is created and it durability characteristics are determined.

Определение долговечности нерезервированной системы с поэлементно-общей стратегией ремонтов на основе ациклической марковской модели

Сергей Щербовских, Орест Лозинский

Для определения показателей долговечности нерезервированных систем усовершенствован метод для автоматизированного формирования моделей надежности. Метод состоит в разложении циклической марковской модели на составляющие, из которых далее формируем многомерную ациклическую марковскую модель. Количество измерений такой модели равно количеству элементов в системе. Для нерезервируемой системы с поэлементно-общим ремонтом сформирована ее двумерная ациклическая марковская модель и определены характеристики долговечности.

Представлено доктором технічних наук П. Малачівським

Отримано 20.08.10