УДК 681.3(07)

к.т.н, с.н.с. **Жиров Г.Б.** (ВІКНУ)
к.т.н. **Лєнков Є.С.** (ВІТІ)
к.т.н. **Цицарєв В.М.** (ВІКНУ)
Проценко Я.М. (ВІКНУ)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІДМОВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ОБ'ЄКТІВ З ІЄРАРХІЧНОЮ КОНСТРУКТИВНОЮ СТРУКТУРОЮ

У статті аналізуються особливості моделювання процесів відмов-відновлень складного технічного об'єкта з ієрархічною конструктивною структурою. Для моделювання використовується імітаційна статистична модель (ІСМ), мета моделювання - прогнозування показників надійності (ПН) і вартості експлуатації (ВЕ) об'єкта. Вводяться поняття відмовляючих і відновлюваних елементів, пропонуються алгоритми і методика їх визначення. Показується, що достовірність прогнозування ПН і ВЕ із застосуванням ІСМ істотно залежить від правильності (оптимальності) визначення цих множин. Їх оптимальність розуміється в сенсі їх відповідності параметрам ремонтопридатності об'єкта. Наводиться приклад моделювання, на якому показується, як визначаються оптимальні множини відмовляючих і відновлюваних елементів, і як від них залежать прогнозовані оцінки ПН і ВЕ об'єкта.

Ключові слова: відновлюваний технічний об'єкт, ієрархічна конструктивна структура, середнє напрацювання на відмову, питома вартість експлуатації, імітаційне статистичне моделювання.

Постановка завдання. Розглядаються складні технічні об'єкти, які мають ієрархічну конструктивну структуру, є відновлюваними об'єктами і призначені для тривалої експлуатації. Для таких об'єктів ефективність їх застосування за призначенням істотно залежить від показників надійності (ПН) і вартості їх експлуатації (ВЕ). Тому достовірне прогнозування ПН і ВЕ вельми важливо на всіх стадіях життєвого циклу таких об'єктів, крім того, ці об'єкти в перебігу періоду їх життєвого циклу, як при розробці, так і при експлуатації, постійно піддаються модернізації і, отже, вимагають постійних уточнень прогнозу ПН і ВЕ.

Питання впливу параметрів конструктивної структури технічного об'єкта на його ПН і ВЕ видається недостатньо дослідженим і в той же час важливим, так як вплив це, з одного боку, начебто очевидно, але, з іншого боку, не зовсім зрозумілі механізми і кількісні оцінки ступеня цього впливу. Для розробника складного технічного об'єкта є важливим мати інструменти (методики) оцінки цього впливу і використовувати їх при прийнятті тих чи інших конструктивних рішень, а розробнику математичних моделей, призначених для прогнозування ПН і ВЕ, необхідно розуміти механізми цього впливу щоб забезпечити адекватність розроблюваних моделей.

У статті досліджується питання впливу конструктивної структури відновлюваного технічного об'єкта на його ПН і ВЕ, оцінки яких виходять за допомогою імітаційної статистичної моделі (ІСМ). Вводяться поняття множин відмовляючих і відновлюваних елементів, показується, що вибір цих множин істотно впливає на достовірність прогнозування ПН і ВЕ об'єкта за допомогою ІСМ.

Конструктивна і надійнісна структура об'єкта. Конструктивну структуру об'єкту будемо описувати графом, які мають деревоподібну структуру (деревом) $G = \langle E, R \rangle$, де E – множина вершин графа, що представляють окремі конструктивні елементи об'єкта; R – множина ребер, що з'єднують ці вершини. Множина R задає *відношення вкладеності* конструктивних елементів. Довільний конструктивний елемент будемо позначати e_i^u, де u –

номер конструктивного рівня (рівня вкладеності) елемента, i – порядковий номер (індекс) елемента ($e_i^u \in E$). Номер конструктивного рівня відраховується від кореневої вершини графа e^0, яка представляє об'єкт в цілому. Відношення R являє собою множину пар виду $\langle e_i^u, e_j^{u-1} \rangle$, в яких елемент e_j^{u-1} є безпосередньо вкладеним в елемент e_i^u ($\langle e_i^u, e_j^{u-1} \rangle \in R$). Кожна пара $\langle e_i^u, e_j^{u-1} \rangle$ представляє відповідне ребро на графі G (рис. 1).

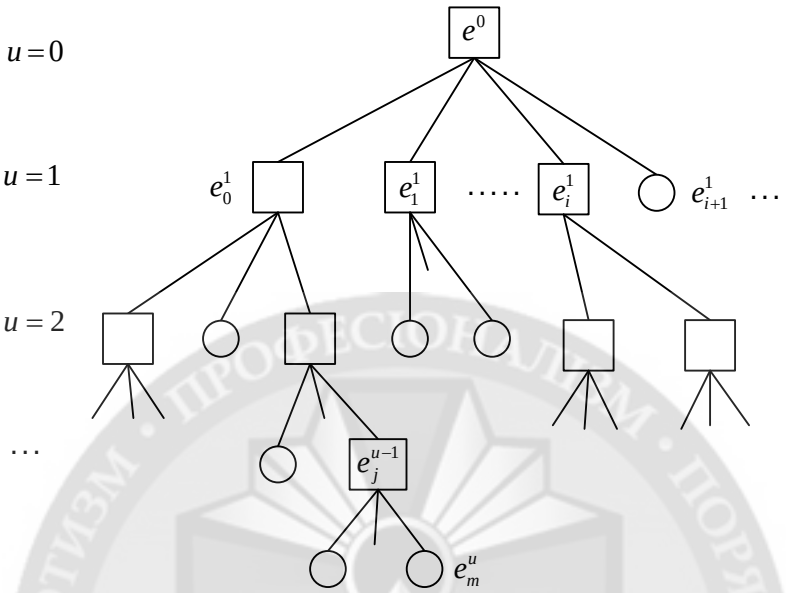

Рис. 1. Древо конструктивної структури об’єкта

Елементи, в складі яких є інші елементи, домовимося називати складовими. Якщо склад елемента не деталізується (не визначаються в його складі будь-які інші конструктивні елементи), то такий елемент будемо називати простим. Простий елемент в дійсності може являти собою будь-який складний технічний виріб, проте в даному конкретному випадку нас не цікавить його внутрішній устрій. На рис. 1 складові елементи зображені прямокутниками, прості - кружками. На нижньому рівні конструктивної структури розташовуються всі прості елементи.

Множина всіх простих елементів позначимо $E_{\text{п}}$, множина всіх елементів $(u+1)$-го рівня, які безпосередньо входять до складу елемента e_i^u, будемо позначати $E(e_i^u)$.

Глибина деталізації елементів при побудові графа G повинна бути така, щоб в ньому були представлені всі потенційно знімні і замінні в процесі експлуатації елементи. На нижньому рівні повинні бути представлені найменші елементи, розбирання яких в умовах експлуатації не можливе або недоцільна.

Надійнісна структура об'єкта передбачається послідовно-паралельною. Всі елементи множини $E(e_i^u)$ вважаються з'єднаними в сенсі надійності послідовно. Кожен представлений на графі G елемент може являти собою послідовне або паралельне з'єднання вхідних до нього елементів. У групі паралельно з'єднаних елементів можуть бути тільки однотипні елементи. Паралельне з'єднання елементів є, по суті, структурним резервуванням. Резервування в групах може бути навантаженим (постійним) або ненавантаженим (що заміщає).

Розглянуте вище формалізований опис конструктивної і надійнісної структури об'єкта використано в програмі ISMPN, в якій реалізована ІСМ процесів технічного обслуговування і ремонту складного технічного об'єкта [1]. Програма ISMPN розроблена в середовищі програмування Delphi [2]. Розглянуті нижче поняття і алгоритми реалізовані в програмі ISMPN.

Поняття множин елементів що відмовляють та відновлюваних елементів. Для об'єктів, що мають ієрархічну конструктивну структуру, при моделюванні відмов в ІСМ виникає питання, відмови яких конструктивних елементів повинні в ІСМ імітуватися безпосередньо, відмови елементів нижнього конструктивного рівня (які вище були названі простими) або складових елементів деякого проміжного рівня. Моделювати відмови всіх простих елементів не реально, так як, з одного боку, їх кількість дуже велика, а, з іншого боку, недоцільно, так як для будь-якого складового елементу при відомій конструктивної структурі завжди можна розрахувати необхідні для моделювання показники безвідмовності і потім використовувати їх в якості вихідних даних для ІСМ. Тому при застосуванні ІСМ вирішується завдання визначення вихідної множини конструктивних елементів, для яких повинно здійснюватися моделювання відмов.

Введемо поняття *множини відмовляючих елементів* (позначимо його $E_{\text{о}}$), під якою будемо розуміти таку підмножину конструктивних елементів, відмови якої повинні моделюватися (імітуватися) в ІСМ при прогнозуванні ПН і ВЕ об'єкта ($E_{\text{о}} \subset E$, $|E_{\text{о}}| << |E|$). Склад множини $E_{\text{о}}$ визначається користувачем і може їм регулюватися. Для забезпечення коректності обчислень множина $E_{\text{о}}$ має задовольняти вимогам повноти і ненадлишковості, суть яких полягає в наступному.

Вимога *повноти* полягає в тому, що в множину $E_{\text{о}}$ повинні бути включені всі елементи, відмови яких можуть привести до відмови об'єкта. Формально, якщо розглядати конструктивну структуру об'єкту, представлену графом *G*, вимога повноти забезпечується наступною умовою: не повинно існувати жодного шляху між коренем дерева (об'єктом) і висячою вершиною (простим елементом), який не містить елемента, що належить множині $E_{\text{о}}$.

Вимога ненадлишковості полягає в тому, що будь-який шлях між коренем дерева *G* і будь-якою його висячою вершиною повинен містити не більше одного елемента, що належить множині $E_{\text{о}}$.

Очевидно, що множина всіх простих елементів $E_{\text{п}}$ завжди є повним і не надмірним. У множині $E_{\text{п}}$ може бути вельми велика кількість елементів і моделювати всі їх відмови навряд чи доцільно. З міркувань економії машинного часу бажано, щоб в множині $E_{\text{о}}$ містилося, по можливості, невелика кількість елементів, з міркувань забезпечення адекватності моделі необхідно, щоб множина $E_{\text{о}}$ містила конструктивні елементи, які з найбільшою ймовірністю будуть замінюватися в процесі експлуатації об'єкта.

На рис. 2 показаний один з можливих варіантів завдання множині $E_{\text{о}}$.

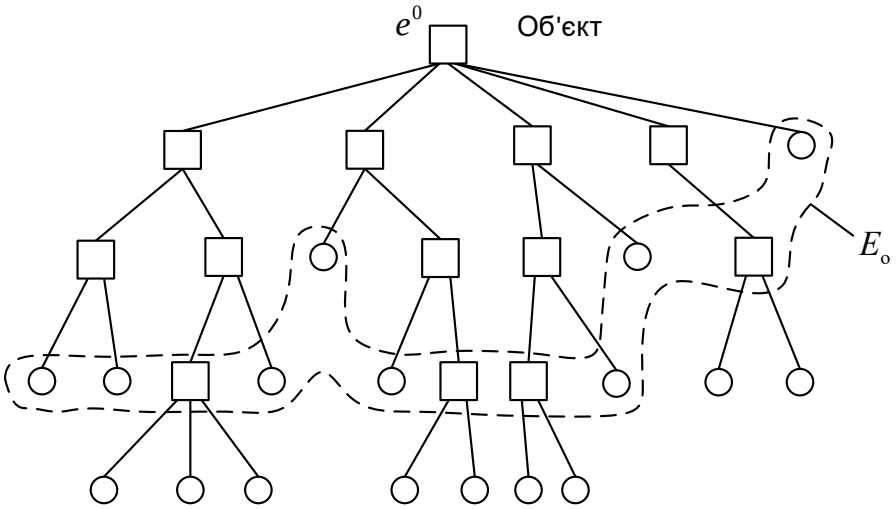

Рис. 2. До пояснення множини відмовляючих елементів E_o

При відмовах об'єкта відновлення його працездатності здійснюється шляхом заміни елемента, що відмовив і при цьому не обов'язково замінюється відмовлюючий конструктивний елемент - на практиці замінюється, як правило, елемент старшого конструктивного рівня, що вимагає найменших витрат часу на його заміну. Введемо поняття відновлюваних елементів наступним чином.

Під *відновлюваними елементами* будемо розуміти такі елементи, які замінюються в процесі експлуатації об'єкта в разі виникнення відмов. На практиці завжди відновлюється (замінюється) або безпосередньо сам відмовлюючий елемент, або включає його елемент старшого конструктивного рівня, якщо час його заміни істотно менше, ніж час заміни елемента, що відмовив. *Множину відновлюваних елементів* будемо позначати $E_в$, кожному відмовному елементу $e_i \in E_o$ ставитимемо у відповідність єдиний відновлюваний елемент $e_j \in E_в$.

Множини E_o та $E_в$ є модельними поняттями і правильний їх вибір дуже важливий для адекватного моделювання процесів відмов-відновлень в ІСМ. Нижче розглядаються алгоритми і методика визначення множин E_o и $E_в$, перед цим введемо деякі необхідні нам в подальшому математичні поняття.

Позначимо W відношення, за допомогою якого будемо встановлювати відповідність між відмовляється і відновлюваними елементами. Відношення W являє собою множину пар $\left\langle e_i^u, e_j^r \right\rangle$, в яких $e_i^u \in E_0$ – відмовляючий елемент, а $e_i^r \in E_в$ – елемент, який буде замінюватися в разі відмови елемента e_i^u. Відношення W визначає функціональне відображення наступного виду $W : E_0 \to E_в$ [3]. Відображенням W кожному елементу $e_i^u \in E_0$ ставиться у відповідність єдиний відновлюваний елемент $e_i^r \in E_в$. З урахуванням цього для відмовляючого елемента e_i^u відповідний йому відновлюваний елемент визначається як $e_j^r = W(e_i^u)$.

Алгоритми і методика формування множин E_o і $E_в$. Для формування оптимальних множин E_o і $E_в$ пропонується наступна методика, що включає три етапи:

- попереднє формування множин E_o і W;

- усунення можливої надмірності множини $E_{\text{о}}$;

- остаточне формування множини (відношення) *W*.

Розглянемо алгоритми реалізації кожного з цих етапів. Алгоритм 1 (алгоритм попереднього формування множин $E_{\text{о}}$ і *W*) полягає в наступному: для кожного простого елемента $e_m \in E_{\text{п}}$ формується шлях $\mathrm{P}(e_m)$, з'єднує висячу вершину e_m з кореневою вершиною e^0. Серед елементів $e_i \in \mathrm{P}(e_m)$ відшукується елемент, для якого час заміни $\tau_{\text{зам}}(e_i)$ має найменше значення. Знайдений елемент e_i додається в множину $E_{\text{о}}$ і одночасно формується пара $\langle e_m, e_i \rangle$, яка додається в множину *W*. Сформована таким чином множина $E_{\text{о}}$ може бути надмірною, надмірність полягає в тому, в $E_{\text{о}}$ можуть міститися елементи, що належать одному і тому ж шляху $\mathrm{P}(e_m)$.

Усунення надмірності множини $E_{\text{о}}$ здійснюється на 2 етапі розглянутої методики виконанням алгоритму 2, структурна схема якого зображена на рис. 3. Робота цього алгоритму полягає в наступному.

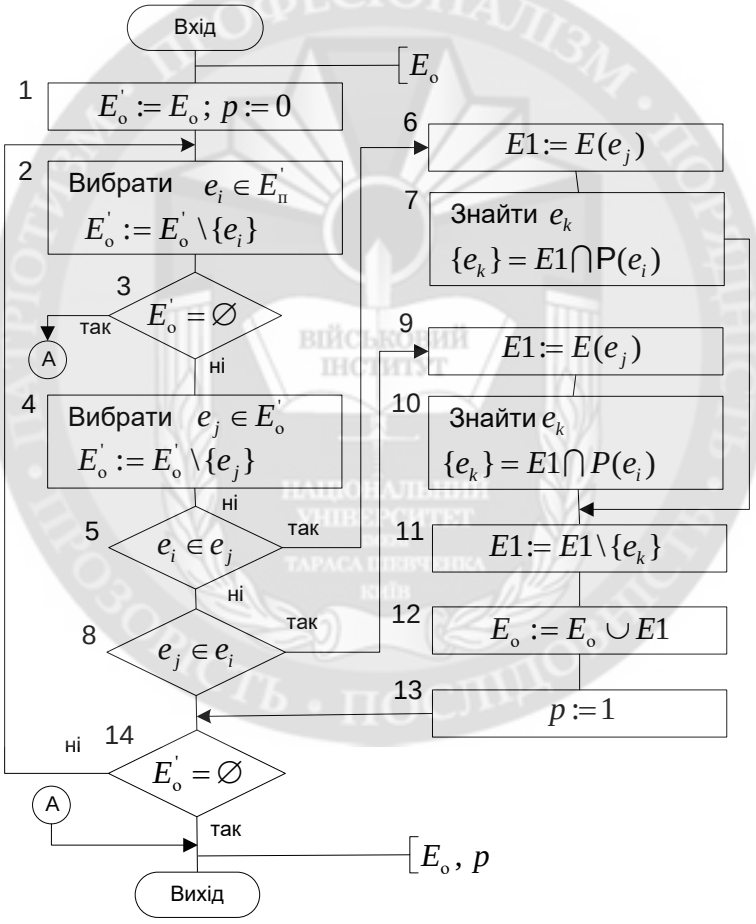

Рис. 3. Алгоритм 2

Оператор 1 формує допоміжну множину $E'_{\text{о}}$, яка використовується для перебору елементів вихідної множини $E_{\text{о}}$ (отриманого в результаті виконання алгоритму 1), і допоміжна ознака *p*, призначення якого буде пояснено нижче. Оператор 2 вибирає довільним

чином з множини $E_{\text{о}}^{'}$ елемент e_i (і відразу видаляє його з $E_{\text{о}}^{'}$). Якщо елемент e_i був єдиним, робота алгоритму на цьому завершується. Оператор 4 так само вибирає з $E_{\text{о}}^{'}$ другий елемент e_j. Оператор 5 перевіряє, чи є елемент e_i вкладеним по відношенню до елементу e_j. Якщо «так», то далі виконуються оператор 6 і 7. Оператор 6 формує множину $E1$ елементів, які безпосередньо входять до складу e_j. Оператор 7 будує шлях $\mathrm{P}(e_i)$, який з'єднує елемент e_i з вершиною дерева e^0, і потім знаходить вершину (елемент) e_k, що лежить на перетині шляху $\mathrm{P}(e_i)$ і множини $E1$. Такий перетин завжди існує внаслідок того, що елемент e_i є вкладеним по відношенню до елементу e_j.

Потім виконується оператор 11, який видаляє елемент e_k з множини $E1$. Оператор 12 додає в множину $E_{\text{о}}$ всі елементи, що залишалися в множині $E1$. Оператор 13 формує значення ознаки $p=1$, ніж фіксується той факт, що в множині $E_{\text{о}}$ були надлишкові елементи.

Якщо елемент e_i не є вкладеним по відношенню до елементу e_j, виконується оператор 8, який перевіряє, чи є вкладеним e_j по відношенню к e_i. Якщо «так», то виконуються оператори 9 і 10, дії яких аналогічні діям операторів 6 і 7 (міняються місцями елементи e_i і e_j). Потім виконуються оператори 12 і 13, призначення яких вже було розглянуто.

Оператор 14 перевіряє умову завершення перегляду всіх елементів, що містяться в вихідній множині $E_{\text{о}}$. Результуючою інформацією алгоритму є множина $E_{\text{о}}$ і ознака *p*. Якщо $p=1$, то це свідчить про те, що при виконанні алгоритму була зафіксована ситуація надмірності вихідної множини $E_{\text{о}}$ і, отже, проводилися дії по її усуненню (оператори 6,7,11,12 або оператори 9-12). Оскільки при цьому відбувається додавання в $E_{\text{о}}$ нових елементів, потрібна повторна перевірка множини на відсутність надмірності (повторне виконання алгоритму 2). Якщо $p=0$, це означає, що множина $E_{\text{о}}$ повна і ненадлишкова.

На 3 етапі раніше створена множина (відношення) *W* перетворюється з урахуванням отриманого на 2 етапі множини $E_{\text{о}}$. Це перетворення реалізується алгоритмом 3, в якому виконуються такі дії. Виробляється перебір всіх простих елементів $e_m \in E_{\text{п}}$ і для кожного елемента e_m будується шлях $\mathrm{P}(e_m)$. На цьому шляху знаходиться елемент e_k, приналежний одночасно $E_{\text{о}}$ (такий елемент завжди є і він єдиний). В множині *W*, який був сформований раніше після виконання алгоритму 1, знаходиться пара $\langle e_m, e_j \rangle$, де e_j - елемент, який повинен замінятися при відмові елемента e_m. У знайденої пари $\langle e_m, e_j \rangle$ елемент e_m замінюється елементом e_k, після чого змінена пара зберігається в множині *W* на попередньому місці.

Розглянуті три алгоритми спільно реалізують методику формування оптимальних множин $E_{\text{о}}$ і $E_{\text{в}}$, множина $E_{\text{в}}$ в даному випадку існує неявно через множину (відношення) *W*. На рис. 4 зображена схема, яка визначає послідовність виконання алгоритмів, що реалізують цю методику.

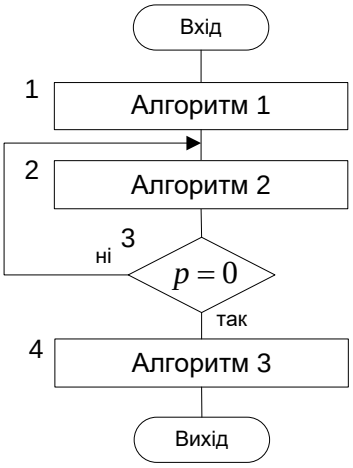

Рис. 4. Схема розрахунків при формуванні E_0 множин і W

Алгоритм 2 згідно з цією схемою може виконуватися багаторазово, поки не буде усунена надмірність вихідного множини $E_{\text{о}}$ (Теоретично можлива ситуація, коли алгоритм 2 виконується одноразово, якщо вихідна множина $E_{\text{о}}$ відразу виявилася не надмірною).

Отримувані множини $E_{\text{о}}$ і $E_{\text{в}}$ є *оптимальними* в тому сенсі, що використання їх при моделюванні процесу відмов-відновлень в найбільшій мірі відповідає реальним властивостям ремонтопридатності об'єкта. Використання отриманих множин $E_{\text{о}}$ і $E_{\text{в}}$ в ІСМ забезпечує найкраще наближення модельованого процесу реальному.

Крім того, отримані за даною методикою множини $E_{\text{о}}$ і $E_{\text{в}}$ є оптимальними з точки зору мінімізації витрат машинного часу на моделювання, так як $E_{\text{о}}$ містить найменше число елементів і при цьому є повним.

Розглянуті алгоритми реалізовані в програмі ISMPN [1].

Приклади моделювання. Розглянемо простий приклад, який ілюструє залежність оптимальних множин $E_{\text{о}}$ і $E_{\text{в}}$ і прогнозованих при цьому оцінок ПН і ВЕ від властивостей РП об’єкта. Для прикладу будемо використовувати тестовий об'єкт, конструктивна структура якого зображена на рис. 5.

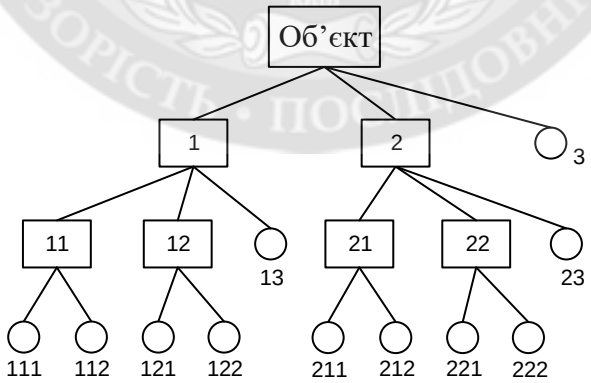

Рис. 5. Конструктивна структура тестового об'єкта

Створимо для тестового об'єкту БД і введемо в неї необхідні вихідні дані (подробиці можна знайти в [1]). Показники надійності для всіх простих елементів задамо однаковими:

напрацювання до відмови всіх простих елементів підпорядкована *DN*-розподілу з параметрами $T_{\text{ср}i} = 10000\,\text{г}$ і $\nu_i = 1{,}0$ (*DN*-розподіл [4] в програмі ISMPN використовується в якості основної моделі відмов елементів). Час заміни для всіх елементів задамо спочатку рівним $\tau_{\text{зам}i} = 1\,\text{г}$. Показники вартості для всіх елементів задамо також однаковими і рівними: вартість елемента C_{0i} = 1 у.о.; вартість операції заміни елемента $C_{\text{зам}i}$ = 1 у.о.

При цих вихідних даних розрахункова (відповідно до розглянутої вище методикою) множина $E_{\text{о}}$ співпадає з безліччю всіх простих елементів $E_{\text{п}}$, множина $E_{\text{в}}$ співпадає з $E_{\text{о}}$. В результаті моделювання для цих вихідних даних отримаємо такі прогнозні оцінки для ПН і ВЕ об'єкта:

- середнє напрацювання на відмову T_0 = 908,5 г;
- середній час відновлення $T_{\text{в}}$ = 1 г;
- питома вартість експлуатації $c_{\text{е}}$ = 0,02422 у.о./г.

Далі проведемо невелике дослідження з метою з'ясування впливу властивості РП об'єкта на оптимальний вибір множин $E_{\text{о}}$ і $E_{\text{в}}$ на прогнозовані оцінки ПН і ВЕ об'єкта. Будемо змінювати властивість ремонтопридатності (РП) об'єкта (шляхом змін $\tau_{\text{зам}i}$ для частини елементів), визначати з урахуванням цих змін оптимальні множини $E_{\text{о}}$ і $E_{\text{в}}$, і шляхом моделювання визначати прогнозовані оцінки ПН і ВЕ при нових множинах $E_{\text{о}}$ і $E_{\text{в}}$. За отриманими результатами зробимо висновки.

Задамо для елемента ‘11’ середній час заміни $\tau_{\text{зам}11} = 0{,}5\,\text{г}$. З огляду на це розрахункова множина $E_{\text{о}}$ повинна бути такою, як це показано на рис. 6 А (елементи заштриховані). Елемент '11' при цьому одночасно є відмовляючим і відновлюваним. Введемо відповідні зміни в БД (для елемента '11' задамо ознаку відмовляючого елемента), заново запустимо програму ISMPN в режимі моделювання і отримаємо прогнозні оцінки ПН і ВЕ об'єкта. Результати представлені в табл. 1 (варіант 1).

Продовжимо зміни у властивостях РП - задамо додатково для елемента '1' значення $\tau_{\text{зам}1} = 0{,}8\,\text{г}$. Введемо ці зміни в БД програми ISMPN, зробимо розрахунки і переконаємося, що розрахункові множини $E_{\text{о}}$ і $E_{\text{в}}$ точно відповідають, показаним на рис. 6 Б. Елемент '11', як і раніше залишається одночасно і відмовляючим і відновлюваним.

Для елементів '12' і '13' відновлюваним елементом стає елемент 1'. Решта прості елементи: '211', '212', ..., одночасно є і відмовляючими і відновлюваними. Запустимо програму ISMPN в режимі моделювання і отримаємо нові оцінки ПН і ВЕ. Отримані при цьому результати представлені в табл. 1 (варіант 2).

На додаток до раніше зроблених змін задамо ще для елемента '2', наприклад, значення $\tau_{\text{зам}2} = 0{,}2\,\text{г}$ (і введемо відповідні зміни в БД). З огляду на ці зміни розрахункова множина відмовляючих елементів $E_{\text{о}}$ має бути такою, як це показано на рис. 6. Елемент '2' в цьому випадку стає і відмовляючим і відновлюваним. Внесемо відповідні зміни в БД, заново запустимо програму ISMPN в режимі моделювання і отримаємо результати, представлені в табл. 1 (варіант 3).

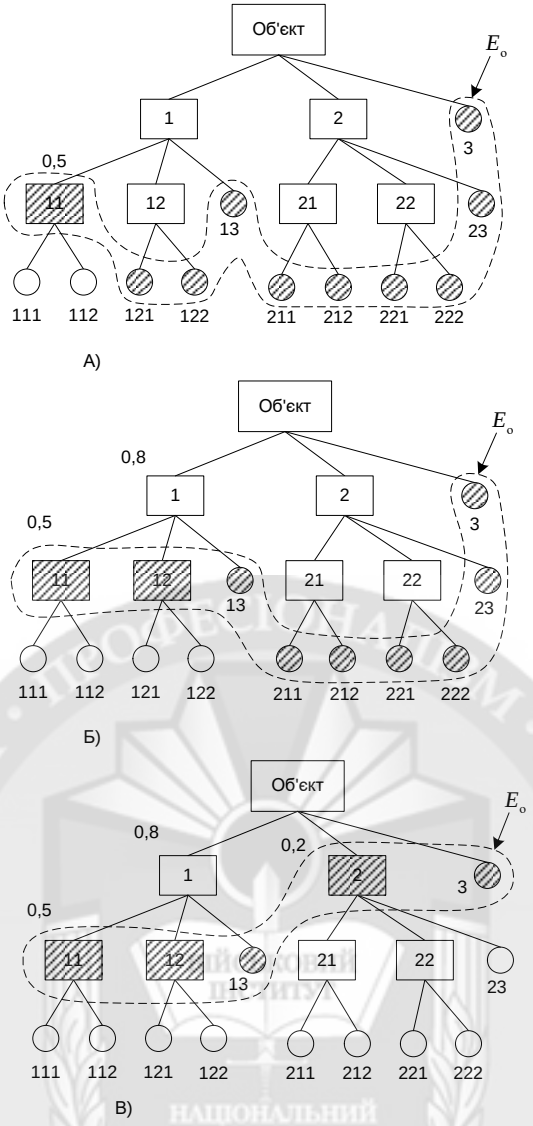

Рис. 6. Приклади отримання різних розрахункових (оптимальних) множин E_o при різних значеннях часу заміни елементів

Таблиця 1

Результати розрахунків множин E_o , $E_в$ і прогнозних оцінок ПН і ВЕ об'єкта

Номер варіанта розрахунків	Параметри РП об'єкта	Множина E_o (число елементів у множині)	Отримувані оцінки ПН і ВЕ об'єкта		
			T_0 , г	$T_в$, г	c_e , у.о./г
0	$\tau_{зам\,i} = 1$г $(\forall i)$	$\lvert E_o \rvert = 11$	908,5	1,0	0,02422
1	$\tau_{зам11} = 0{,}5$г	$\lvert E_o \rvert = 10$	960,1	0,93	0,02164
2	$\tau_{зам11} = 0{,}5$г , $\tau_{зам1} = 0{,}8$г	$\lvert E_o \rvert = 9$	1061,3	0,89	0,01965
3	$\tau_{зам11} = 0{,}5$г , $\tau_{зам1} = 0{,}8$г , $\tau_{зам2} = 0{,}2$г	$\lvert E_o \rvert = 5$	1497,2	0,57	0,01091

Висновки:

1. Отримані в розглянутому прикладі результати наочно ілюструють вплив параметрів РП об'єкта на прогнозовані оцінки ПН і ВЕ об'єкта: при поліпшенні якості РП відбувається відповідне поліпшення прогнозованих значень показників T_0, $T_в$ і $c_э$;

2. Кожному варіанту значень параметрів РП об'єкта відповідають «свої» оптимальні множини $E_о$ і $E_в$, при яких забезпечуються адекватні прогнозні оцінки ПН і ВЕ об'єкта (в цьому легко переконатися шляхом моделювання за допомогою програми ISMPN);

3. Для того щоб процес моделювання відмов-відновлень об'єкта з ієрархічною конструктивною структурою був адекватним (відповідав реальним діям обслуговуючого персоналу при виконанні ремонтів), множини $E_о$ і $E_в$ повинні розраховуватися з урахуванням параметрів РП за запропонованою в даній статті методикою. Цим буде забезпечуватися достовірне прогнозування ПН і ВЕ об'єкта, здійснюване із застосуванням ІСМ.

LITERATURA:

1. Prognozirovanie nadezhnosti slozhnyih ob'ektov radioelektronnoy tehniki i optimizatsiya parametrov ih tehnicheskoy ekspluatatsii s ispolzovaniem imitatsionnyih statisticheskih modeley. Monografiya / S.V. LEnkov, K.F. Boryak, G.V.Banzak, V.O. Braun [i dr.] : pod red. S.V.Lenkova. – Odessa : Izd-vo «VMV», 2014. – 256 s.

2. Darahvelidze P.G., Markov E.P. Programmirovanie v Delphi 7. SPb.: BHV-Peterburg, 2004. – 784 s.

3. R. For, A. Kofman, M. Deni-Papen. Sovremennaya matematika. M.: Izd. «Mir», 1966. – 272 s.

4. GOST 27.005-97. Nadezhnost v tehnike. Modeli otkazov. Osnovnyie polozheniya. – Vved. 01.01.99. – 45 s.

Рецензент: д.т.н., проф. Сбітнєв А.І.

к.т.н, с.н.с. Жиров Г.Б., к.т.н. Ленков Е.С., к.т.н. Цицарев В.Н., Проценко Я.Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТКАЗОВ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СТРУКТУРОЙ

В статье анализируются особенности моделирования процессов отказов-восстановлений сложного технического объекта с иерархической конструктивной структурой. Для моделирования используется имитационная статистическая модель (ИСМ), цель моделирования – прогнозирование показателей надежности (ПН) и стоимости эксплуатации (СЭ) объекта. Вводятся понятия отказывающих и восстанавливаемых элементов, предлагаются алгоритмы и методика их определения. Показывается, что достоверность прогнозирования ПН и СЭ с применением ИСМ существенно зависит от правильности (оптимальности) определения этих множеств. Их оптимальность понимается в смысле их соответствия параметрам ремонтопригодности объекта. Приводится пример моделирования, на котором показывается, как определяются оптимальные множества отказывающих и восстанавливаемых элементов, и как от них зависят прогнозируемые оценки ПН и СЭ объекта.

Ключевые слова: восстанавливаемый технический объект, иерархическая конструктивная структура, средняя наработка на отказ, удельная стоимость эксплуатации, имитационное статистическое моделирование.

Ph.D. Zhyrov G.B., Ph.D. Lenkov E.S., Ph.D. Tsytsarev V.M., Procenko Ya.M.

MODELING OF THE FAILURE PROCESS OF THE REPAIRABLE OBJECTS WITH THE HIERARCHICAL CONSTRUCTIVE STRUCTURE

This article analyzes the features of the modeling failures-recovering process of the complex technical object with a hierarchical constructive structure. The modeling uses a simulation statistical model (SSM), the purpose of the modeling is forecasting of reliability indices (RI) and operating costs (OC) of the object. The concepts of failing units and repairable units are introduced and algorithms and methods for their determination are proposed. It is shown that the accuracy of forecasting of RI and OC using SSM greatly depends on the correct (optimal) definition of these sets.Their optimality is understood in the sense of their correspondence to the object maintainability parameters. An example of a simulation shows how the optimal sets of failing and repairable units are determined, and how the predicted estimations of RI and OC of the object depend on them.

Keywords: repairable technical object, hierarchical constructive structure, mean time between failure, unit cost of operation, simulation statistical modeling.