УДК 62-192.004

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ ПАСИВНО РЕЗЕРВОВАНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Бойко А.І., д.т.н., проф.[1], Бондаренко О.В. к.т.н., доц.[2], Савченко В.М. к.т.н.[3]

[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України
[2]Миколаївський національний аграрний університет
[3]Житомирський національний агроекологічний університет

Дослідженням встановлено фінальну величину функції готовності, яка набуває значення коефіцієнта готовності при переході системи у сталий режим експлуатації.

Як правило пасивно резервовані технічні системи сільськогосподарського призначення є такими, що відновлюються тобто працюють при періодичних ремонтах і сервісних обслуговуваннях. Розмічений граф, який характеризує роботу таких систем, при поступовому їх старінні і незмінному потенціалі бази технічного обслуговування представлено на рис. 1 [1].

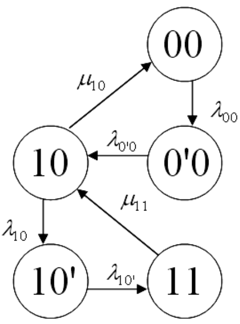

Рис. 1. Розмічений граф станів і переходів системи при пасивному резервуванні, старіючій техніці і незмінному рівні сфери технічного обслуговування: *"00"* – роботоздатний стан, коли основний і резервний елементи справні; *"10"* – роботоздатний стан, коли основний елемент відмовив, а резервний справний; *"11"* - неработоздатний стан, коли основний і резервний елементи відмовили; *"0'0"* і *"10' "* – проміжні стани.

Безвідмовність відновлюємої системи кращим чином характеризується комплексним показником надійності яким є коефіцієнт готовності.

В динаміці змін фізичного стану технічної системи при її старінні коефіцієнт готовності стає функцією часу і набуває значення функції готовності (нестаціонарного коефіцієнта готовності).

Враховуючи, що єдиним станом відмови розглядуємої системи є стан "11" (рис. 1) функцію готовності системи до виконання роботи простіше визначити через ймовірність знаходження системи у цьому стані

$$Кг(t) = 1 - P_{11}(t)$$

Таким чином постає необхідність у визначені ймовірності відмов системи $P_{11}(t)$. В перетвореннях Лапласа вона представляється ймовірністю $P_{11}(t) \leftrightarrow \varphi_{11}(S)$, яка згідно правила Крамера дорівнює

$$\varphi_{11}(S) = \frac{\Delta_{11}}{\Delta}, \tag{1}$$

де Δ_{11} – матриця системи рівнянь (7) [2] для невідомої $\varphi_{11}(S)$

Виходячи з розширеної матриці системи (7) [2] для знаходження невідомої $\varphi_{11}(S)$ замінимо стовбець членів при ній на стовбець вільних членів. Тоді матриця представляється слідуючим чином

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} S+\lambda_{00} & 0 & -\mu_{10} & 0 & 1 \\ -\lambda_{00} & S+\lambda_{0'0} & 0 & 0 & 0 \\ S & S & S & S & 1 \\ 0 & 0 & -\lambda_{00} & S+\lambda_{10'} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_{00'} & 0 \end{vmatrix}$$

Вирішення матриці шляхом пониження її рангу, алгебраїчних перетворень і спрощень приводить до наступного кінцевого результату

$$\begin{aligned} \Delta_{11} = {} & 2S^2\lambda_{0'0}\lambda_{10'} + S\left(\lambda_{0'0}\lambda_{10}\lambda_{10'} + 2\lambda_{00}\lambda_{10}\lambda_{10'} + \lambda_{0'0}\lambda_{10}\lambda_{10'}\right) + \\ & + \lambda_{00'}\lambda_{0'0}\lambda_{10}\lambda_{10'} \end{aligned} \tag{2}$$

Членами степені малості λ^3 і більше для практичних цілей аналізу без суттєвої втрати точності результату можна знехтувати. Тоді рівняння (2) представляється у спрощеному вигляді

$$\Delta_{11} = 2S^2\lambda_{10}\lambda_{10'}$$

Так як значення основної матриці Δ встановлено раніше [2] то ймовірність відмов $\varphi_{11}(S)$, виходячи з (1) однозначно визначена і представляється у спрощеному вигляді слідуючим чином

$$\varphi_{11}(S)=\frac{2S^2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{S^3\left(aS^2+bS+c\right)} \qquad (3)$$

де

$a=1;$

$b=\left(\mu_{11}+\lambda_{10'}+\lambda_{10}+\lambda_{0'0}+\lambda_{00}+\mu_{10}\right);$

$c=\left(\lambda_{10'}\mu_{11}+\lambda_{10}\lambda_{10'}+\mu_{11}\lambda_{10}+\lambda_{0'0}\mu_{11}+\lambda_{0'0}\lambda_{10'}+\lambda_{0'0}\lambda_{10}+\lambda_{00}\mu_{11}+\lambda_{00}\lambda_{10'}+\right.$

$\left.+\lambda_{00}\lambda_{10}+\lambda_{0'0}\lambda_{0'0}-\mu_{10'}\mu_{11}+\mu_{10}\lambda_{10'}+\mu_{10}\lambda_{0'0}\right);$

У відображеннях Лапласа функція готовності записується у вигляді $Кг(t)\leftrightarrow\varphi_{Кг}(S)$

$$\varphi_{Кг}(S)=\frac{1}{S}-\varphi_{11}(S)$$

Підставивши в представлений вираз значення ймовірностей $\varphi_{11}(S)$ з (3) маємо

$$\varphi_{Кг}(S)=\frac{1}{S}-\frac{2S^2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{aS^5+bS^4+cS^3}$$

Провівши алгебраїчні операції і скорочення в кінцевому вигляді запишемо

$$\varphi_{Кг}(S)=\frac{S^2+bS+\left(c-2\lambda_{10}\lambda_{10'}\right)}{S\left(S^2+bS+c\right)} \qquad (4)$$

Для виконання зворотних перетворень від зображення до оригіналу необхідно ймовірність $\varphi_{Кг}(S)$ представити у вигляді суми простих дробів виду

$$\varphi_{Кг}(S)=\frac{A_{11}}{S-S_1}+\frac{B_{11}}{S-S_2}+\frac{C_{11}}{S-S_3}+\frac{D_{11}}{S-S_4}+\frac{E_{11}}{S-S_5},$$

де $A_{11}, B_{11}, C_{11}, D_{11}$ і E_{11} – введення невідомі сталі величини, які необхідно визначити для зворотнього перетворення Лапласа.

S_1, S_2, S_3, S_4 і S_5 і – корені рівняння знаменника (3).

Враховуючи, що $S_1=S_2=S_3=0$ [3] і привівши до загального знаменника маємо

$$\varphi_{K\text{г}}(S)=\frac{\left(A_{11}+B_{11}+C_{11}\right)\left(S-S_4\right)\left(S-S_5\right)+D_{11}S\left(S-S_5\right)+E_{11}S\left(S-S_4\right)}{S\left(S-S_4\right)\left(S-S_5\right)}$$

Виписавши по ступенях невідомої і ввівши заміну $A_{11}+B_{11}+C_{11}=Ж_{11}$ запишемо

$$\varphi_{K\text{г}}(S)=\frac{S^2\left(Ж_{11}+D_{11}+E_{11}\right)-S\left(Ж_{11}S_5+Ж_{11}S_4+D_{11}S_5+E_{11}S_4\right)+Ж_{11}S_4S_5}{S\left(S-S_4\right)\left(S-S_5\right)} \qquad (5)$$

Виходячи з еквівалентності поліномів (4) і (5) в чисельниках, вони рівні якщо рівні між собою коефіцієнти при невідомих у однакових степенях.

Складемо нову систему рівнянь для визначення введених сталих величин

$$\begin{cases} 1=Ж_{11}+D_{11}+E_{11} \\ b=-\left(Ж_{11}S_5+Ж_{11}S_4+D_{11}S_5+E_{11}S_4\right) \\ c-2\lambda_{10}\lambda_{10'}=Ж_{11}S_4S_5 \end{cases}$$

Вирішаємо систему рівнянь методом підстановки. З третього рівняння маємо

$$Ж_{11}=\frac{c-2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{S_4S_5} \qquad (6)$$

З першого рівняння запишемо

$$D_{11}=1-Ж_{11}-E_{11} \qquad (7)$$

Підставляючи значення D_{11} і $Ж_{11}$ в друге рівняння алгебраїчної системи

$$-b=\left(\frac{c-2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{S_4S_5}S_5+\frac{c-2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{S_4S_5}S_4+\left(1-\frac{c-2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{S_4S_5}-E_{11}\right)S_5+E_{11}S_4\right)$$

Після скорочень і перетворень в кінцевому вигляді стала величина E_{11} дорівнює

$$E_{11}=\frac{1}{S_5-S_4}\left(b+\frac{c-2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{S_5}+S_5\right) \qquad (8)$$

Зворотною підстановкою в (7) отримаємо

$$D_{11}=1-\frac{c-2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{S_4S_5}-\frac{1}{S_5-S_4}\left(b+\frac{c-2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{S_5}+S_5\right) \qquad (9)$$

Таким чином всі введені сталі величини для здійснення зворотнього перетворення Лапласа визначені рівняннями (6), (8) і (9). Тоді виконуючи правило перетворень можна записати функцію готовності у слідуючому вигляді

$$Кг(t) = Ж_{11} + D_{11}\exp(-S_4 t) + E_{11}\exp(-S_5 t) \tag{10}$$

Аналіз отриманої функції готовності показує, що в момент початку роботи системи коли $t = 0$, підставляючи значення складових у формулу (10) маємо

$$Кг(t=0) = Ж_{11} + (1 - Ж_{11} - E_{11})\exp(-S_4 t) + E_{11}e^{-S_5 t} = 1$$

Тобто система повністю готова до експлуатації.

Другим крайнім випадком для системи є ситуація, коли час її експлуатації прямує до нескінченності $t \to \infty$. Тоді підставляючи значення складових в функцію готовності (10) отримаємо

$$Кг(t \to \infty) = Ж_{11}$$

Ввівши значення $Ж_{11}$ маємо

$$Кг(t \to \infty) = \frac{c - 2\lambda_{10}\lambda_{10'}}{S_4 S_5}$$

Графічно функція готовності представлена на рис. 2.

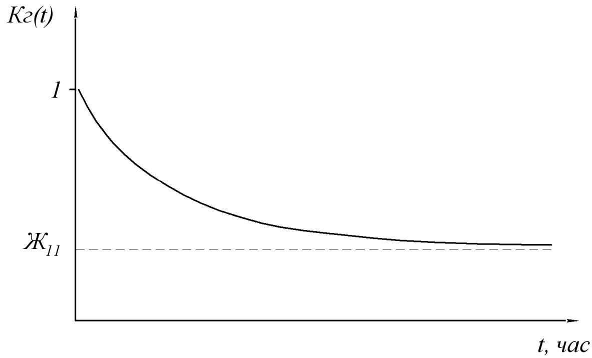

Рис. 2. Залежність коефіцієнту готовності пасивно дубльованої старіючої системи від часу її експлуатації.

Таким чином функція готовності дубльованої системи, що досліджується змінюється згідно подвійного експоненціального закону. Такий закон зміни готовності характерний для систем, що втрачають роботоздатність при формуванні раптових відмов. Дослідженням встановлено фінальну величину функції готовності, яка набуває значення коефіцієнта готовності при переході системи у сталий режим експлуатації.

Список використаних джерел

1. Бойко А.І. Резервування як ефективний метод забезпечення надійності складної сільськогосподарської техніки./ А.І Бойко, О.В.Бондаренко, В.М. Савченко // Техніка та технології АПК. – 2013. – №1.
2. Бойко А.І. Математична формалізація опису станів і переходів пасивно резервованих технічних систем / А.І Бойко, О.В.Бондаренко, В.М. Савченко // Вісн. ХНТУСГ ім. Василенка – 2013 – Вип. 133 - С. 216-219.

Аннотация

ИЗУЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ГОТОВНОСТИ ПАССИВНО РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А.И. Бойко, А.В. Бондаренко, В.Н. Савченко

Исследованием установлено финальную величину функции готовности, которая приобретает значение коэффициента готовности при переходе системы в установившийся режим эксплуатации.

Abstract

THE OPERATIONAL AVAILABILITY OF PASSIVE REDUNDANT TECHNICAL SYSTEM STUDY

A. Boyko, O. Bondarenko , V. Savchenko

The final value of availability function which acquires the availability factor's value when the system goes into operation's steady state was proved by research.