ИЗСЛЕДВАНЕ И ОПТИМИЗИРАНЕ ПЕРИОДИЧНОСТТА НА ДИАГНОСТИРАНЕ НА МАШИНИТЕ С ОТЧИТАНЕ НА ДОСТОВЕРНОСТТА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ИЗМЕРВАНЕТО

М.Михов - ИПАЗР"Н.Пушкаров", София
Г.Тасев - ЛТУ, София

Резюме: *Разгледан е процес на експлоатация на сложен технически обект (трактор, автомобил, самоходна земеделска машина и т.н.;), чието техническо състояние се установява със системи за контрол (диагностика). Направен е модел за обслужване при приети за известни: функция на разпределение на вероятността на времето за безотказна работа на обекта, функция на разпределение на вероятността за постъпване на лъжлив отказ от системата с интензивност на постъпване на лъжливите сигнали.*
Математическото описание на модела на система за техническо обслужване е направено с помощта на полумарковски случаен процес. Установено е влиянието на основните параметри върху коефициента на готовност на обекта.
КЛЮЧОВИ ДУМИ: *НАДЕЖДНОСТ, КОЕФИЦИЕНТ НА ГОТОВНОСТ, МАРКОВСКИ СЛУЧАЙНИ ПРОЦЕСИ, ОТКАЗИ, СИСТЕМИ ЗА ТЕХНИЧЕСКО ОБСЛУЖВАНЕ, КОНТРОЛ, ДИАГНОСТИКА.*

За да може да се установи равнището на надеждност на обектите в процеса на експлоатация, те трябва периодически се контролират, т.е. да се определя техническото им състояние. По резултатите от диагностиране (контрола) се взема решение за вида и обема на техническото обслужване на обекта.

Разглеждаме процес на експлоатация на сложен технически обект (трактор, автомобил, самоходна земеделска машина и т.н.;), чието техническо състояние се установява с две системи за контрол (диагностика) СК-1 и СК-2.

Системата СК-1 е предназначена за определяне на обема на плановите технически обслужвания с периодичност Т, а така също за контролиране на техническото състояние на елементите на обекта по време на отстраняване на отказите, т.е. по време на неплановите технически обслужвания [1-4].

Системата СК-2 следи непрекъснато основните параметри на обекта и подава сигнал, ако има опасност от възникване на отказ. Предполагаме, че системата СК-2 е по-проста по конструкция и затова има по-ниски показатели на достоверност на контрола в сравнение със системата СК-1 ($D_2<D_1$).

В хода на изследването са приети следните основни означения:

- достоверност на контрола D – вероятността за точно определяне на техническото състояние на обекта;
- достоверност на вземане на решение “Обектът е годен” (изправен) $D_г$ – вероятността за това, че приетия за годен обект е действително такъв;
- достоверност на вземане на решение “Обектът е негоден” (неизправен), $D_{нг}$ – вероятността за това, че неизправният обект е правилно приет за неизправен.

Всички тези показатели на достоверност може да бъдат изразени посредством вероятностите за грешка при контрола от 1 и 2 род α и β и априорната вероятност, обектът да се намира в изправно състояние:

(1) $D=(1-\alpha)P_0+(1-\beta)(1-P_0)$;

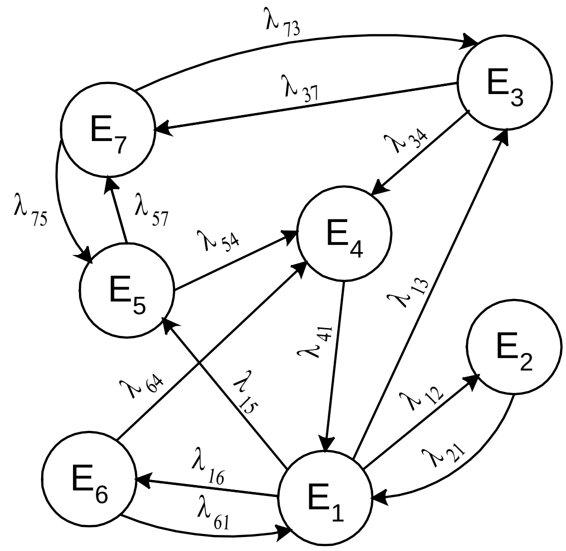
(2) $D_Г=(1-\alpha)P_0/\left[(1-\alpha)+\beta(1-P_0)\right]$;

(3) $D_{НГ}=(1-\beta)(1-\alpha)\,/\left[\alpha P_0+(1-\beta)(1-P_0)\right]$.

Означаваме с δ вероятността СК-2 да даде сигнал за появата на отказ в обекта. Като основен критерий, характеризиращ безотказнастта и ремонтопригодността на обекта, избираме коефициента на готовност Кг, представляващ вероятността обектът да се намира в изправно състояние в някакъв момент t, когато t е достатъчно голямо, т.е.

$$K_Г=\lim_{t\to\infty}K(t)\,.$$

Графическото изображение на разгледания модел на експлоатация и техническо обслужване на обекта е представено на фиг.1. Моделът отчита следните възможни състояния на обекта и системата за контрол: E_1 – обектът се намира във включено изправно състояние; E_2 - системата СК-1 се използва за извършване на ТО, което е започнало при отсъствие на сигнал за отказ от системата СК-2 (в обекта отказ няма); E_3 - системата СК-1 се използва за провеждане на планово техническо обслужване, което е започнало при отсъствие на сигнал от системата СК-2 (в обекта има отказ); E_4 - провежда се не планов (отказов) ремонт; E_5 - системата СК-2 се използва за проверка на състоянието на обекта: проверката започва в случаен момент τ по сигнал от системата за контрол (в обекта има отказ); E_6 - системата СК-2 се използва за проверка на обекта: проверката започва в случаен момент $\tau_л$ след постъпване на лъжлив сигнал за отказ (в обекта отказ няма); E_7 - обектът се използва (работи) при наличието на неоткрит отказ.



Фиг.1 *Граф на състоянията на техническия обект*

За съставяне на модел за обслужване предполагаме, че са известни: функцията на разпределение на вероятността на времето за безотказна работа на обекта / *F(t)* /; функцията на разпределение на вероятността за постъпване на лъжлив отказ от системата СК-2 /Φ(t)/ с интензивност на постъпване на лъжливите сигнали λ, т.е. $\Phi(t)=1-e^{-\lambda t}$.

Математическото описание на такъв модел може да бъде изпълнено с помоща на полумарковски случаен процес. Матрицата на преходните вероятности на предлагания модел има вида:

(4)

$$P(T)=\begin{Vmatrix} 0 & [1-F(t)]e^{-\lambda T} & (1-g)\int_0^T e^{-\lambda T}dF(t) & 0 & g\int_0^T e^{-\lambda T}dt & \lambda\int_0^T e^{-\lambda T}[1-F(t)dt & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_{1H\Gamma} & 0 & 0 & 1-D_{1H\Gamma} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_{1\Gamma} & 0 & 0 & 1-D_{1\Gamma} \\ D_{2\Gamma} & 0 & 0 & 1-D_{2\Gamma} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1-e^{-\lambda_{\Pi P}T} & 0 & 0 \end{Vmatrix}$$

Коефициентът на готовност на обекта може да се представи с формулата:

(5) $$K_{\Gamma}=\sum_{i=1}^{n}\pi_i\,(T)\,\omega_i\,(T)\,/\sum_{i=11}^{n}\pi_i\,(T)\,\mu_i\,(T) \quad ,$$

където $\pi_i(T)$ е средната честота на връщане на обекта в състояние i ;

ω_i - средното време на престой на обекта в изправно състояние;

$\mu_i\,(T)$ - средното време на престой на обекта в *i* – тото състояние.

За нашия модел средното време на изправна работа ще бъде $\omega_1\,(T)=M\left\{\min\left(\tau,\tau_n\,T\right)\right\}$. Останалите $\omega_i\,(T)$, $\forall_i=2,3,4,5,7$ са равни на нула. Математическото очакване на продължителността на една крачка (стъпка) при прехода от състояние *i* в състояние *j* се определя с израза:

(6) $$M_i\,(T)=\sum_{j=1}^{n}P_{ij}(t)M\left\{\tau\left(i,j\right)\right\}=\sum_{j=1}^{n}P_{ij}(t)\int_0^{\infty}\tau\,dF(\tau,T) \quad ,$$

където $F(\tau)$ е законът на разпределение на продължителността на прехода от състояние *i* в състояние *j* при избрана стратегия T ;

$P_{ij}(T)$ - преходните вероятности, определени по формула (4).

Приетите закони на разпределение за даден модел ни позволяват да запишем следните изрази:

$$F_{12}(t)=F_{13}(t)=\delta(t)\,; \quad F_{21}(t)=F_{37}(t)=\delta(t_1+t_T)\,; \quad F_{34}(t)=\delta(t_1)\,; \quad F_{41}(t)=\delta(t_b)\,;$$

$F_{54}(t)=F_{64}(t)=\delta(t_2)$; $F_{57}(t)=F_{61}(t)=\delta(t_2)$; $F_{37}(t)=\delta(T)$.

$$F_{15}=\begin{cases}\dfrac{\int_0^t e^{-\lambda x}dF(x)}{\int_0^T e^{-\lambda x}dF(t)} & ,t<T;\\ 1 & ,t\geq T;\end{cases}$$

$$F_{16}=\begin{cases}\dfrac{\int_0^t [1-F(x)]e^{-\lambda x}dF(x)}{\int_0^T [1-F(x)]e^{-\lambda x}dF(t)} & ,t<T;\\ 1 & ,t\geq T;\end{cases}$$

$$F_{17}=\begin{cases}\dfrac{\int_0^t e^{-\lambda_{\text{ПР}}x}dx}{\int_0^T e^{-\lambda_{\text{ПР}}t}dt} & ,t<T;\\ 1 & ,t\geq T;\end{cases}$$

където $\delta(y)=\begin{cases}0, & t<y,\\ 1, & t\geq y.\end{cases}$

Останалите $F_{i,j}(T)$ са равни на нула.

Заместваме във формула (6) стойностите за $P_{i,j}(T)$ от матрицата (4) и получаваме експоненциална функция на разпределението на вероятността на времето за безотказна работа на обекта във вида

(7) $$\begin{aligned}M_1(T)&=\exp[-(-\lambda_0+\lambda)T]+(1-g)\lambda_0\{1-\exp[-(\lambda+\lambda_0)]T\}T/(\lambda+\lambda_0)+\\&+g(\lambda_0+\lambda)\{1-[(\lambda+\lambda_0)T+1]\exp[-(-\lambda_0+\lambda)T]\}/(\lambda_0+\lambda)^2 \quad ,\end{aligned}$$

където λ_0 е интензивността на отказите на обекта;

$\mu_2(T)=t_T+t_1$; $\mu_3(T)=t_T-D_{1HГ}t_T+t_1$; $\mu_4(T)=t_B$; $\mu_5(T)=\mu_6(T)=\{1-\exp[-(\lambda_{np}T)]\}/\mu_{np}$;

Стойностите $\pi_1(T)$ се определят от система уравнения

$$\pi_1(T)=\ldots=\pi_7(T)=\pi(T)P(T)$$

$$\sum_{i=1}^{7}\pi_i(T)=1$$

Известно е, че ако всички състояния на веригата на Марков, са зададени с матрицата $P(T)$, то винаги е налице едно единствено решение при което $\pi_i(T)>0$.

Поставяме матрицата $P(T)$ в уравнение (9), получаваме система уравнения:

(10) $\pi_1(T)=\pi_2(T)+\pi_4(T)+D_{2Г}\pi_6(T)$; $\pi_2(T)=a_1\pi_4(T)$; $\pi_3(T)=a_2\pi_1(T)+a_3\pi_1(T)$;

$\pi_4(T)=D_{1HГ}\pi_3(T)+D_{1Г}\pi_5(T)+(1-D_{1Г})\pi_6(T)$; $\pi_5(T)=a_4\pi_1(T)+a_5\pi_7(T)$;

$\pi_6(T)=a_6\pi_4(T)$; $\pi_7(T)=(1-D_{11HГ})\pi_3(T)+(1-D_{1Г}-\pi_5(T))$; $\sum_{i=1}^{7}\pi_i(T)=1$

където:

(11) $$a_1 = [1-F(T)]e^{-\lambda T}\ ;\quad a_2 = (1-g)\int_0^T e^{-\lambda T} dF(t)\ ;\quad a_3 = e^{-\lambda_{np} T}\ ;$$

$$a_4 = g\int_0^T e^{-\lambda T} dF(t)\ ;\quad a_5 = 1-a_3\ ;\quad a_6 = \lambda\int_0^T e^{-\lambda T}[1-F(t)]d(t)\ .$$

Решавайки системата уравнения (10), получаваме

$$\pi_1(T) = M/c\ ;\quad \pi_2(T) = a_1 M/c\ ;\quad \pi_3(T) = a_2 M/c + a_3[a_2(1-D_{1НГ}) + a_4(1-D_{1Г})]/c\ ;$$

$$\pi_4(T) = \{M[D_{1НГ}a_3 + D_{1Г}a_4 + (1-D_{2Г})] + [D_{1НГ}a_3 + D_{1Г}a_5][a_2(1-D_{1НГ})a_4(1-D_{1Г})]\}/c\ ;$$

$$\pi_5(T) = a_4 M/c + a_5(a_2 - d_{1НГ}a_2 + a_4 - D_{1Г})/c\ ;\quad \pi_6(T) = a_6 M/c\ ;$$
$$\pi_7(T) = [D_{1Г}(1-D_{1НГ}) + a_4(1-D_{1Г})]/c\ ,$$

където:

$$c = [1 + 2a_1 + a_2 + a_4 + 2a_6 + D_{1НГ}a_2 + D_{1Г}a_4 - D_{2Г}a_6]M + [a_3(1+D_{1НГ}) + a_5(1+D_{1Г}) + 1].$$
$$[a_2(1-D_{1НГ}) + a_4(1-D_{1Г})];$$
$$M = 1 - a_3(1-D_{1НГ}) + a_5(1-D_{1Г})\ .$$

И тъй като случайните величини $\tau, \tau_л$ са независими за $F_1(t) = 1 - e^{-\lambda 0 t}$ при определяне на ω_1(Т) е необходимо да се намери математическото очакване на случайната величина, чието разпределение се изразява с показателната функция

$$P\{\min(\tau, \tau_Л) > t\} = P\{\tau > t, \tau_Л > t\} = P\{\tau > t\}P\{\tau_Л > t\} = \exp[-(\lambda_0 + \lambda)t].$$

От тук получаваме

(12) $$M\{\min(\tau, \tau_Л)\} = \int_0^T e^{-(\lambda_0+\lambda)t} dt = \left[1 - e^{-(\lambda_0+\lambda)t}\right]/(\lambda_0 + \lambda)$$

Поставяме съответните $\pi_i(T)$, $\mu_i(T)$ и $\omega_1(T)$ във формула (12) и получаваме за $F_1(t) = 1 - e^{-\lambda 0 t}$ коефициент на готовност

$$K_Г = \{M(1 - e^{-(\lambda_0+\lambda)t})/(\lambda_0 + \lambda)\}/Q\quad .$$

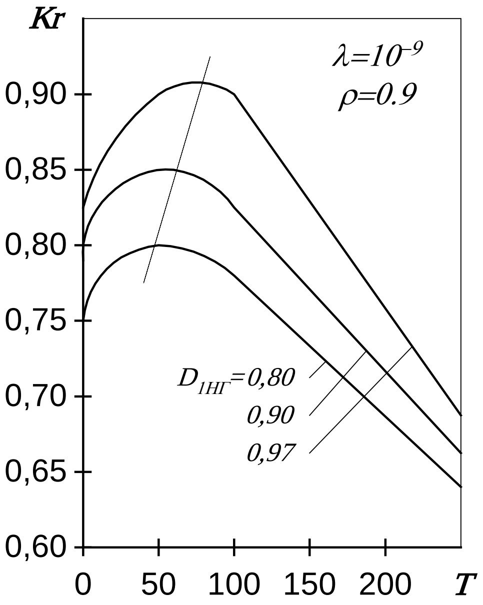
От тук

(13) $$\begin{aligned}Q = {} & M[AT + (1-g)\lambda_0 BT + (g\lambda_0 + \lambda)]\{1 - [(\lambda_0+\lambda)T + 1]e^{-(\lambda_0+\lambda)T}\}/(\lambda_0+\lambda)^2 + \\ & + A[(1-D_{1Г})\lambda_0 g + (1-D_{1НГ})(1-g)\lambda_0](1 - e^{-\lambda_{np}T})/\lambda_{np}(\lambda_0+\lambda) + \\ & + AM(t_T + t_1) + \{M(1-g)\lambda B + e^{-\lambda_{np}T}[(1-D_{1НГ})((1-g)\lambda_0) + (1-D_{1Г})\lambda_0 g]B\}(t_T - D_{1НГ}t_T + t_1) + \\ & \{M[D_{1НГ}((1-g)\lambda + D_{1Г}\lambda_0 g)B + (1-D_{2Г})\lambda(1-A)/(\lambda_0+\lambda)] + [D_{1НГ}e^{-\lambda_{np}T} + d_2(1-e^{-\lambda_{np}T})] \\ & [\lambda_0 B((1-D_{1НГ})(1-g) + g)(1-D_{1Г})]t_b\} + \\ & \{(\lambda_0 g + \lambda)BM + (1-e^{-\lambda_{np}T})[\lambda_0 B(1-D_{1НГ})(1-g) + g(1-D_{1Г})]\}t_2\quad ,\end{aligned}$$

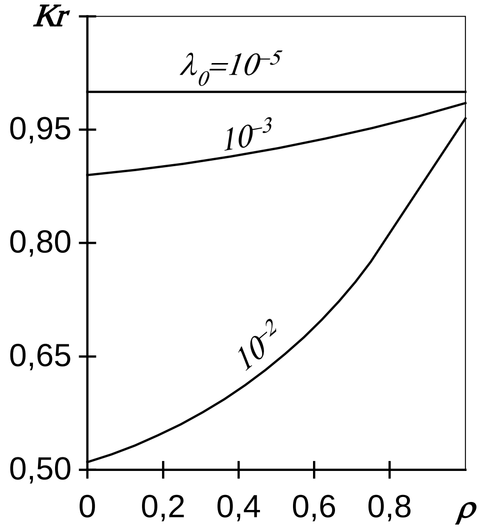
където $A = e^{-(\lambda_0+\lambda)T}$;

$$B = (1 - e^{-(\lambda_0+\lambda)T})/(\lambda_0 + \lambda)\ .$$

Формулата (13) позволява да се установят функционални зависимости на коефициента на готовност на обекта от характеристиките на самия обект, средствата за контрол, стратегията за техническо обслужване и да се оптимизира равнището на надеждност на обекта и системата му на техническо обслужване и ремонт. На фиг.2 и 3. са показани резултатите от изчисляването на коефициента на готовност на обекта, по формула (13) в зависимост от периодичността на обслужване (Т), интензивността на постъпване на лъжливи сигнали за отказ и т.н.



Фиг.2. *Характер на изменението на коефициента на готовност в зависимост от периодичността на техническото обслужване, T h.*



Фиг.3.*Изменение на коефициента на готовност Kr в зависимост от* ρ *при различни стойности на* λ_0.

Изводи

1. Разработен е и е изследван модел на система за техническо обслужване с помощта на полумарковски процеси.

2. Установено е влиянието на основните параметри върху коефициента на готовност на обекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е.С.Исследование операции. Задачи, принципы, методология, М., 1988.
2. Соломонкин А.,А.Козак Обоснование метода оценки качества ТО тракторов.-Тр.ГОСНИТИ,т.68,М.,1983,с.43-46.
3. Пасечников Н. Научные основы оптимизации технического обслуживания машин.,Труды ВИМ.,М.,1979,т.85.
4. Тасев Г.Оптимизиране периодичността на диагностиране на машините.-Юб.сб.н.доклади на ЛТУ,С.,2000,с.235-238.