УДК 622.27

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГОРНОЙ МАШИНЫ КАК СИСТЕМЫ РАЗНОРЕСУРСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ И ВНЕЗАПНЫМИ ОТКАЗАМИ

Кравченко В.М., канд. техн. наук,
Донецкий государственный технический университет

Разработана математическая модель горной машины, позволяющая получать интегральные и частные показатели ее характеристик надежности с учетом плановых замен и диагностики.

The mathematical model of the mining machine is developed which allow to receive integrated and detailed values of it characteristics of reliability with taking into consideration the scheduled replacement and diagnostics.

Повышение эффективности использования горного оборудования является одной из актуальнейших проблем горнодобывающей промышленности. Ее успешное решение возможно на основе оптимизации и совершенствования системы организации его технического обслуживания и ремонта с целью увеличения коэффициента использования машин, а также обоснованного выбора средств механизации. Как показывает практика, наиболее эффективное решение этих задач может быть обеспечено лишь на основе широкого использования компьютерных технологий. Это обуславливает необходимость разработки математической модели процесса восстановления горных машин.

Основными особенностями горных машин как объектов надежности и процесса их эксплуатации являются: различие характеристик надежности деталей и узлов, входящих в их состав; использование средств диагностики в процессе эксплуатации машины с целью оценки работоспособности значительного количества их элементов; возможность плановой замены недиагностируемых элементов.

Это обуславливает необходимость разработки математической модели процесса восстановления горных машин как системы разноресурсных элементов с прогнозируемыми и внезапными отказами, позволяющей учесть результаты процесса диагностирования и возможность упреждающих плановых замен недиагностируемых элементов.

Элементами машины с прогнозируемыми отказами являются те элементы для которых предельное состояние может быть предсказано средствами диагностики с достаточной точностью. В этом случае замена этих элементов не приводит к неплановым простоям машины, может быть реализована планово и будет производиться при практически полном исчерпании их ресурса. Элементами машины со случайными отказами являются те элементы, для которых время выхода из строя в процессе эксплуатации не может быть спрогнозировано.

Для составления математической модели, удовлетворяющей основным особенностям горных машин как объектов надежности /1/ и возможности ее реализации на базе компьютерной техники, были приняты следующие исходные положения:

1. Горная машина это система последовательно взаимоувязанных элементов различного ресурса, имеющих свои характеристики надежности (законы распределения их отказов и параметры этих законов).

2. Процесс восстановления машины рассматривается как нестационарный /2/ и ординарный с ограниченными последствиями, отказы могут быть прогнозируемые и случайные.

3. Замена диагностируемых элементов производится при полном исчерпании их ресурса и возможна упреждающая плановая замена в процессе эксплуатации элементов с внезапными (непрогнозируемыми) отказами.

4. Основными критериями эффективности использования горной машины являются: коэффициент готовности и затраты на поддержание ее работоспособного и исправного состояний в период эксплуатации.

При таком представлении процесса восстановления горная машина рассматривается как совокупность взаимоувязанных функционально законченных элементов (ФЗЭ) (деталей, узлов и агрегатов). Это позволяет не только формализовать процесс, но и автоматизировать формирование его математической модели в ЭВМ как интегрированного ФЗЭ, составными частями которого являются ФЗЭ системы. Кроме того, такое представление горной машины позволяет максимально использовать системный подход при анализе и синтезе процесса ее восстановления.

С учетом исходных положений математическая модель процесса восстановления горной машины запишется в виде системы (1),

$$
\left\{
\begin{array}{l}
\left[\begin{array}{l}
j=1,\overline{N_{эj}}, \quad \omega_j(t)=f(\alpha_j(t)),\\
N_{пj}(t)=\int\limits_0^t \omega_j(\tau)d\tau,\ C_{впj}(t)=c_{вj}N_{пj}(t),\ \ T_{впj}(t)=t_{вj}N_{пj}(t),
\end{array}\right.\\
\left[\begin{array}{l}
i=1,\overline{N_{эi}},\\
\omega_i(t)=f(\alpha_i(t)),\\
\omega_{ci}(t)=\omega_i\left(t-\operatorname{int}\left[\dfrac{t}{k_i t_{pi}}\right]k_i t_{pi}\right),\\
N_{нi}(t)=\int\limits_0^t \omega_{ci}(\tau)d\tau,\ \ N_{пi}(t)=\dfrac{t}{t_{зi}},\ \ N_{ci}=N_{нi}+N_{пi},\\
C_{внi}(t)=c_{вi}N_{нi}(t),\ \ C_{впi}(t)=c_{вi}N_{пi}(t),\ \ C_{вi}(t)=c_{вi}N_{ci}(t),\\
T_{внi}(t)=t_{вi}N_{нi}(t),\ T_{впi}(t)=t_{вi}N_{пi}(t),\ \ \ T_{вi}(t)=t_{вi}N_{ci}(t),
\end{array}\right.\\
T_{вн}(t)=\sum\limits_{i=1}^{N_{эi}} T_{внi}(t),\ \ T_{вп}(t)=\sum\limits_{i=1}^{N_{эi}} T_{впi}(t)+\sum\limits_{j=1}^{N_{эj}} T_{впj}(t),\\
C_{в}(t)=\sum\limits_{i=1}^{N_{эi}} C_{вi}(t)+\sum\limits_{j=1}^{N_{эj}} C_{впj}(t),\\
k_{г}(t)=\dfrac{t}{t+T_{вн}},\\
k_{г}(t)=\left(1+\sum\limits_{i=1}^{N_{эi}} t_{вi}\omega_{ci}(t)\right)^{-1}.
\end{array}
\right. \qquad (1)
$$

в которой приняты следующие обозначения.: $N_{эj}$, $N_{эi}$ - количество ФЗЭ, входящих в машину, соответственно диагностируемых и недиагностируемых; $\alpha(t)$, $\omega(t)$ - соответственно частота и функция параметра потока отказов элемента; f – функция определения параметра потока отказов, отражающая численный метод решения уравнения Вольтерра второго рода; $\omega_{ci}(t)$ - функция параметра потока отказов i–того элемента при его плановой замене через наработку $t_{зi}=k_i t_{pi}$ (k_i – коэффициент относительной замены, равный отношению наработки элемента до его плановой замены к математическому ожиданию его наработки t_{pi}); $C_в$ - ожидаемые затраты на поддержание работоспособности машины за наработку t; $N_{пj}$ – количество замен по результатам диагностики j-го элемента; $N_{нi}$, $N_{пi}$, N_{ci} – соответственно неплановое, плановое и общее количество замен i-го элемента; $T_{впj}$ - время восстановления работоспособности j-го элемента; $T_{внi}$, $T_{впi}$, $T_{вi}$ - соответственно неплановое, плановое и общее время восстановления работоспособности i-го элемента; $C_{впj}$ стоимость восстановления j-го элемента; $C_{внi}$, $C_{впi}$, $C_{вi}$ - соответственно неплановая, плановая и общая стоимость восстановления i-го элемента; $c_{вj}$, $t_{вj}$, $c_{вi}$, $t_{вi}$ – стоимость и длительность единичного восстановления j-го и i-го элемента; $T_{вн}$, $T_{вп}$ – время восстановления неплановых и плановых отказов машины за наработку t; $k_г(t)$, $\bar{k}_г(t)$ - коэффициент готовности машины на момент ее наработки t и его средняя величина за наработку t.

Для решения уравнения Вольтерра

$$\omega(t)=\alpha\ (t)+\int_0^t\omega(\tau)\alpha\ (t-\tau)d\tau$$

был предложен и реализован в виде алгоритма (2) метод численного интегрирования в виде рекурентных зависимостей, основанный на использовании методов Симпсона (с увеличенным шагом интегрирования $M\Delta t$) и трапеций (с шагом интегрирования Δt), позволяющих значительно сократить затраты компьютерного времени на получение решения. Здесь ω_k - k-тое значение параметра потока отказов, соответствующее времени $t_k=(k-1)\ \Delta t$; α_k - значение частоты отказов в момент времени t_k; M – количество точек на участке интегрирования по методу Симпсона; N_k – требуемое количество значений параметра потока отказов, определяемое при решении уравнения.

Разработанная математическая модель является дальнейшим развитием математической модели процесса восстановления горных машин /3/, адекватность которой была доказана /4/. Она была использована для анализа процесса восстановления экскаватора типа ЭКГ-8И.

Таким образом, разработана математическая модель нестационарного процесса восстановления горной машины, позволяющая определить интегральные и частные показатели ее характеристик

$$
\left[
\begin{array}{l}
\omega_1 = \omega(t=0) = \alpha(t=0) = \alpha_1; \\
a = \dfrac{2\Delta t}{2 - \Delta t\,\alpha_1}; \quad K = 2, \overline{N_k}; \\
\left[
\begin{array}{l}
P = \mathrm{int}\left[\dfrac{K-2}{2M}\right] \times 2M; \quad S = 0; \\
j = \overline{1, P}, \ 2M; \\
\left[
\begin{array}{l}
L = K + 1 - j; \\
S = S + \omega_j \alpha_L + 4\omega_{(j+M)}\alpha_{(L-M)} + \omega_{(j+2M)}\alpha_{(L-2M)};
\end{array}
\right. \\
S = \dfrac{SM}{3} + \dfrac{\omega_{(P+1)}\alpha_{(K-P)}}{2}; \ j = \overline{P+2, K-1}; \\
\left[S = S + \omega_j \alpha_{(K+1-j)}; \right. \\
\omega_K = a\left(S + \dfrac{\alpha_K}{\Delta t}\right);
\end{array}
\right. \\
t_k = (K-1)\Delta t; \\
i = \overline{1, N_э}; \\
\omega(t_k) = \omega_K.
\end{array}
\right. \tag{2}
$$

надежности, с учетом законов наработки ее элементов на отказ, результатов процесса диагностирования, а также возможной упреждающей плановой замены недиагностируемых элементов. Модель может быть использована для обоснования путей повышения технического уровня и эффективности использования горных машин на основе исследования их процесса восстановления и оптимизации структуры ремонтного цикла, а также для создания автоматизированных систем комплексного адаптивного сервисного обслуживания.

Список источников.

1. Кравченко В.М., Семенченко А.К., Шабаев О.Е. Анализ функционирования горных машин как объектов надежности // Сборник научных трудов ДонГТУ. Серия горно-электромеханическая. - 1999. - Вып.7. - С. 143-146.
2. Кравченко В.М. Русихин В.И. Ремонтная технологичность карьерных механических лопат. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 1995. – 321 с.

Семенченко А.К. Научные основы многокритериального синтеза горных машин как пространственных многомассовых динамических систем переменной структуры: Дис. ... докт. техн. наук. – Донецк, 1997. – 323с.

3. Кравченко В.М., Семенченко А.К., Шабаев О.Е., Семенченко Д. А. Математическая модель процесса восстановления горной машины как системы элементов различного ресурса // Науковий вісник НГА України. - 1999. - №2. - С. 66-69.
4. Кравченко В.М., Семенченко А.К., Шабаев О.Е., Семенченко Д. А. Оценка адекватности математической модели процесса восстановления горной машины как системы элементов различного ресурса // Вибрации в технике и технологиях. – 1999. - №3. - С. 25-27.