ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630*377.44

А.И. Павлов, Ю.А. Ширнин

Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет 183 печатные работы в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВЫБОРА СТРАТЕГИИ ЗАМЕНЫ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН

Предложена методика, позволяющая обосновать рациональное время профилактических мероприятий по своевременной замене элементов гидросистемы с использованием теории дискретных марковских цепей.

Ключевые слова: лесосечная машина, гидропривод, эксплуатация, вероятность отказов, марковская цепь, остаточный ресурс.

Отказы элементов гидросистемы в процессе эксплуатации лесных машин существенно снижают эффективность их функционирования. Кроме потерь, связанных с простоем машины, значительный материальный ущерб наносят утечки рабочей жидкости при неисправности уплотнений или обрыве резиновых трубопроводов. Своевременное обнаружение и предупреждение дефектов делает возможным существенное уменьшение материальных потерь. Однако преждевременная замена элементов гидросистемы также сопровождается необоснованными расходами из-за недоиспользования их ресурса.

Цель нашего исследования – разработка методики, позволяющей обосновать рациональное время профилактических мероприятий по замене элементов гидросистемы. С точки зрения теории исследования операций рассмотрим следующие варианты постановки задачи:

а) $Э \to \max Э$ при $C \le C_{доп}$;

б) $C \to \min C$ при $Э \to Э_{доп}$,

где $Э$, C – соответственно показатели эффективности функционирования (например производительности) и материальных затрат;

$Э_{доп}$, $C_{доп}$ – предельно допустимые значения.

Будем считать рациональной стратегию, обеспечивающую min C (вариант б). Ограничение по эффективности в данном случае фигурирует в неявном виде согласно условию равного времени безотказного функционирования сравниваемых вариантов (недоиспользованный ресурс или выход из строя элемента).

Пусть имеется элемент гидросистемы (например рукав высокого давления – РВД), состояние которого контролируют через определенный промежуток времени Δt. Допустим, что данный элемент может отказать только на этом промежутке, в течение которого с РВД могут произойти два случайных события:

A – трубопровод вышел из строя (вероятность P);

B – трубопровод остался исправным (вероятность $1 - P$).

В результате этих событий система либо остается в исправном состоянии A_2, либо перейдет в неисправное A_1.

Заключение о степени изношенности трубопровода делают при его осмотре, поэтому можно предположить, что вероятность событий A и B зависит только от результатов предшествующего осмотра. Таким образом, последовательность испытаний, заключающихся в эксплуатации РВД в течение временных интервалов Δt, образует дискретную марковскую цепь. Поскольку вероятности переходов зависят только от результатов каждого предшествующего осмотра, то цепь является простой. Если предположить, что законы распределения времени безотказной работы для всех трубопроводов одинаковы, то данная марковская цепь обладает свойством однородности.

Следовательно, в данном случае имеет место простая однородная цепь Маркова, описываемая переходной матрицей вида

$$\Pi_{[2]} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ P & 1-P \end{vmatrix}.$$

Переходные вероятности $P(A_1/A_1) = P_{11}$, $P_{12} = 0$. При попадании в состояние A_1 требуется замена трубопровода. Среднее число попаданий в это состояние (N) можно определить, пользуясь теорией марковских цепей [2, 3]:

$$N = (I - Q)^{-1}, \qquad (1)$$

где I – единичная матрица;

Q – матрица вероятностей переходов в состояние A_1.

Однако больший интерес представляет определение рациональной стратегии проведения профилактических мероприятий с использованием данных диагностики.

В нашем случае под K-й стратегией понимается решение о замене РВД или оставлении его в гидроприводе на дальнейший период эксплуатации Δt. Каждое такое решение связано либо с определенными доходами (за счет нормального функционирования машины), либо с расходами (простои, потери жидкости, стоимость трубопровода и т. д.). Поскольку при неудовлетворительном состоянии трубопровода (по диагностическому параметру) принимается единственное решение о его замене, то в качестве исходного в дальнейшем берется состояние A_2 (исправное). Составим таблицу возможных состояний, стратегий и доходов.

Состояние I	Стратегия K	Вероятность перехода		Доход	
		P_{i1}^k	P_{i2}^k	U_{i1}^k	U_{i2}^k
A_2	Трубопровод заменяется	$P_{21}^{(1)}$	$P_{22}^{(1)}$	$U_{21}^{(1)}$	$U_{22}^{(1)}$
A_2	Трубопровод не заменяется	$P_{21}^{(2)}$	$P_{22}^{(2)}$	$U_{21}^{(2)}$	$U_{22}^{(2)}$

Среднее значение дохода за время t (наработка машины) можно определить в виде суммы:

$$U_i(n) = q_i + U_i(\overline{n} - 1), \qquad (2)$$

где q_i – непосредственно ожидаемый доход (при одном шаге Δt),

$$q_i = \sum_{j=1}^{n} P_{ij}\, U_{ij};$$

$U_i(n-1)$ – полный средний доход в течение $(n-1)$ шагов процесса,

$$U_i(n-1) = \sum_{j=1}^{n} P_{ij} U_{ij}(n-1).$$

Зависимость (2) учитывает вероятность появления какого-либо из рассматриваемых событий на каждом шаге (этапе) процесса и связанные с этим доходы или расходы.

Очевидно, оптимальная стратегия соответствует max $U_i(n)$, что может быть получено при учете не только непосредственно ожидаемого дохода, но и всех последующих решений, т. е. при условии применения принципа оптимальности Беллмана [1], согласно которому управление на каждом шаге многошагового процесса должно быть оптимальным для всего процесса. Поскольку мы рассматриваем случайный процесс, то данная задача относится к классу задач стохастического динамического программирования. Для ее решения необходимы конкретные исходные данные.

Вероятности перехода ($P_{ij}^{\ k}$) трубопровода из исправного состояния A_2 в неисправное A_1 определяли для летнего и зимнего периодов эксплуатации.

Доходы $U_{ij}^{\ k}$ принимали следующими:

$$U_{21}^{(1)} = U - \left(U_{\text{пр}} + U_{\text{р.ж}} + U_{\text{тр}}\right), \qquad (3)$$

где U – доход за счет бесперебойной работы машины в течение Δt = 250 мото-ч;

$U_{\text{пр}}$ – стоимость простоя машины при наличии неисправности;

$U_{\text{р.ж}}$ – расход за счет потери рабочей жидкости при обрыве трубопровода;

$U_{\text{тр}}$ – стоимость трубопровода с учетом его замены.

$$U = \Pi_{\text{см}} \Delta t_1 C_{\text{др}}, \qquad (4)$$

где $\Pi_{\text{см}}$ – сменная производительность машины;

Δt_1 – суммарное время работы машины в промежутке Δt при односменном режиме;

$C_{\text{др}}$ – стоимость 1 м^3 заготовленной древесины.

$$U_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} T_{\text{ср}} k_{\text{р}}, \quad (5)$$

где $k_{\text{пр}}$ – трудозатраты на устранение отказа;

$T_{\text{ср}}$ – часовая тарифная ставка ремонтных рабочих;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент.

$$U_{\text{тр}} = C_{\text{тр}} + tT_{\text{ср}} k_{\text{р}}, \quad (6)$$

где $C_{\text{тр}}$ – стоимость трубопровода;

t – время устранения отказа.

$$U_{22}^{(1)} = U - \left(U_{\text{тр}} + U_{\text{выр}}\right), \quad (7)$$

где $U_{\text{выр}}$ – потери при снижении выработки машины за счет простоя.

$$U_{21}^{(2)} = U - \left(U_{\text{р.ж}} + U_{\text{пр}}\right), \quad (8)$$

Таким образом, нами получена следующая матрица доходов:

$$R = \begin{vmatrix} U_{21}^1 & U_{22}^1 \\ U_{21}^2 & U_{22}^2 \end{vmatrix}.$$

Зная соответствующие вероятности переходов для летнего $P_{ij}^k = P(A/B_1)$ и зимнего $P_{ij}^{\kappa} = P(A/B_2)$ периодов эксплуатации, можно определить непосредственно ожидаемый доход:

$$P_{ij}^k = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0{,}02 & 0{,}98 \end{vmatrix}; \; q_1^1 = P_{21}^1 U_{21}^1 + P_{22}^1 U_{22}^1; \qquad q_2^2 = P_{21}^2 U_{21}^2 + P_{22}^2 U_{22}^2.$$

Теперь подсчитаем средний ожидаемый доход в течение (n – 1) шагов процесса, начиная с последнего этапа, на котором $\bar{U}(0) = U_2(0) = 0$.

Значит, за один шаг до окончания процесса полный ожидаемый доход равен непосредственно ожидаемому:

$$\bar{U}_1(1) = q_1^1; \qquad \bar{U}_2(1) = q_2^2.$$

За два шага до окончания процесса

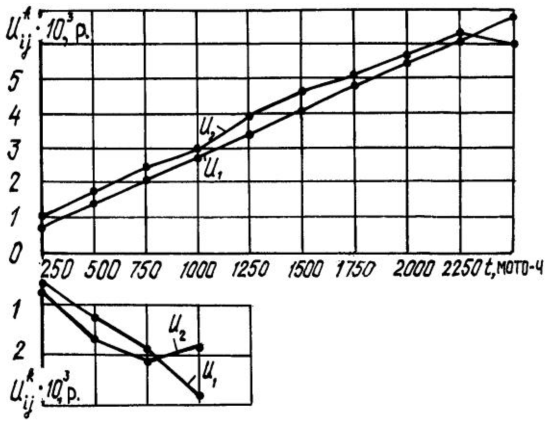
$$\bar{U}_1(2) = P_{21}^1 \bar{U}_1(1) + P_{22}^1 \bar{U}_2(1); \qquad \bar{U}_2(2) = P_{21}^2 \bar{U}_1(1) + P_{22}^2 \bar{U}_2(1).$$

Тогда полный суммарный доход за два шага до смены модели равен

$$U_1(2) = q_1^1 + \bar{U}_1(2); \qquad U_2(2) = q_2^2 + \bar{U}_2(2).$$

Аналогично определяем полный суммарный доход для последующих шагов процесса.

На основании полученных нами экспериментальных данных построены графики полных суммарных доходов при эксплуатации трубопровода летом и зимой (см. рисунок).



Полный суммарный доход при эксплуатации трубопровода летом (верхние графики) и зимой (нижние графики)

Анализ графиков показывает, что при эксплуатации машины в летний период оптимальная стратегия проведения профилактических работ по замене трубопроводов соответствует наработке 2300, в зимний – 800 мото-ч или максимальным суммарным доходам от эксплуатации. В дальнейшем наблюдается снижение дохода вследствие разрыва трубопроводов, что влечет за собой значительные потери рабочей жидкости и простои машины.

Таким образом, предлагаемая методика, основанная на использовании теории дискретных марковких цепей, позволяет применить диагностическую информацию для выбора рационального времени проведения профилактических мероприятий по своевременной замене элементов гидросистемы, что предотвратит материальный ущерб, связанный с простоями машины, а также необоснованные расходы при замене элементов гидросистемы с недоиспользованным ресурсом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калихман И.Л.* Динамическое программирование в примерах и задачах: учеб. пособие / И.Л. Калихман, М.А. Войтенко. – М.: Высш. шк., 1979. – 125 с.

2. *Кемени Д.* Конечные цепи Маркова / Д. Кемени, Д. Снелл. – М.: Мир,1968. – 286 с.

3. *Ховард Р.* Динамическое программирование и марковские процессы / Р. Ховард. – М.: Сов. радио, 1964. – 164 с.

Марийский государственный
технический университет

Поступила 17.02.04

A.I. Pavlov, Yu.A. Shirnin

Technique of Using Diagnostic Information for Selecting Strategies for Replacement of Hydraulic Drive Elements for Forest Machines

Technique is suggested allowing to substantiate rational time of preventive measures for on-time replacement of hydraulics elements using the theory of discrete markov chains.