

УДК 658.581: 630*36

В.Н. Шиловский, Е.В. Кутырев

Шиловский Вениамин Николаевич родился в 1945 г., окончил в 1970 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Имеет более 170 печатных трудов в области надежности и ремонта лесных машин.



Кутырев Евгений Владимирович родился в 1980 г., окончил в 2004 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант ПетрГУ. Имеет 2 печатные работы в области организации ремонта лесозаготовительных машин.



К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Предложены теоретические положения разработки системы технических воздействий на лесозаготовительные машины по их состоянию.

Ключевые слова: техническая эксплуатация, диагностика, ремонт, техническое обслуживание, техническое состояние, условия эксплуатации, экономическая эффективность.

Эффективность лесозаготовительного производства зависит от технической готовности используемых машин и оборудования, определяемой коэффициентом $K_{т.г.}$, и затрат на обеспечение его оптимального значения.

Наиболее тесную связь между техническим состоянием машин ($K_{т.г.}$) и затратами на поддержание их работоспособности обеспечивают системы, основанные на стратегиях технических воздействий по состоянию эксплуатируемого объекта [2].

Развитие теории эксплуатационной эффективности системы технических воздействий на лесозаготовительные машины (ЛЗМ) предполагает решение следующих задач:

- раскрытие взаимных связей между производительностью, надежностью и экономичностью на основе моделирования (исследования) соответствующей целевой функции, отражающей процесс рядовой эксплуатации ЛЗМ;
- разработка теоретических основ построения гибкой (адаптивной) структуры планово-предупредительной системы технических воздействий на ЛЗМ с учетом результатов диагностики их элементов;

- разработка моделей рядовой эксплуатации и эксплуатационной надежности и на их основе выбор адекватной конкретным условиям стратегии технического обслуживания (ТО), ремонта (Р) и диагностики системы ЛЗМ;
- формирование требований к ремонтпригодности, эксплуатационной технологичности и технической оснащенности ремонтно-обслуживающей базы (РОБ) эксплуатирующих ЛЗМ предприятий;
- решение вопросов автоматизации процесса управления техническим состоянием ЛЗМ, обеспечения оптимальных периодичности и объема работ по диагностике, ТО и ремонту машин.

Минимальная совокупность показателей, характеризующих выполнение основных требований эксплуатационной эффективности, предъявляемых на всех уровнях лесозаготовительного производства, приведена в табл. 1.

Таблица 1

Стадия процесса	Показатели эффективности		
	Надежность	Производительность	Экономичность
Технологическая эксплуатация конкретного вида ЛЗМ	t_{zi} – средняя наработка на отказ i -го вида ЛЗМ	$П_i$ – средняя производительность; K_{ni} – коэффициент использования	C_{mi} – средняя себестоимость единицы продукции по конкретной операции лесозаготовок
Техническая эксплуатация ЛЗМ	t_{ri} – среднее время восстановления (устранения отказа, проведения ТО и диагностики) i -го вида ЛЗМ	$K_{т.г}$ – коэффициент технической готовности; T_{yi} – средние удельные простои при технических воздействиях	C_{mi} – средняя удельная стоимость технических воздействий
Технологическая эксплуатация системы ЛЗМ	t_o – средняя наработка на отказ, приводящий к остановке технологического потока	$П_o$ – производительность системы машин	C_o – себестоимость единицы конечной продукции; P – рентабельность

Необходимые условия для формирования эффективной стратегии технических воздействий по фактическому состоянию входящих в систему ЛЗМ объектов вытекают из требований обеспечения технологии производства конечного продукта, производительности, экономичности эксплуатации машин и оборудования (табл. 2).

Целевую функцию эффективности системы ЛЗМ можно определить по формуле

$$F(t) = \frac{П(t)}{V(t)} K_z = \frac{П(t)}{V(t)} \frac{1}{K_{zi}(t)K_{т.г}(t)}, \quad (1)$$

где $П(t)$ – прибыль, получаемая при эксплуатации системы ЛЗМ за время t , зависящая от показателей свойств эффективности, приведенных в

табл. 1;

$V(t)$ – объем продукции, произведенной за время t , зависящий от показателей эффективности эксплуатации ЛЗМ (табл. 1);

K_3 – коэффициент эксплуатационной эффективности ЛЗМ;

K_z – коэффициент, учитывающий степень использования по назначению в соответствии с современной технологией производства продукта;

$K_n(t)$ – коэффициент эффективности использования ЛЗМ;

$K_{т.г}(t)$ – коэффициент технической готовности ЛЗМ.

Фактор времени t позволяет учитывать изменения параметров целевой функции в период эксплуатации и динамику этого процесса.

Таблица 2

Цель и управляющий фактор	Показатель	Постоянные факторы
Минимизация затрат на техническую эксплуатацию ЛЗМ за счет стратегии технических воздействий по состоянию постоянных (неуправляемых) факторов и самого объекта	Производительность ремонтно-восстановительных работ и диагностики (возможность своевременной диагностики и быстрой замены и восстановления элемента объекта; эксплуатационная и ремонтная контролепригодность и технологичность)	Контролепригодность Доступность Легкосъемность Взаимозаменяемость Ремонтопригодность Состояние РОБ (наличие средств и методов контроля технического состояния объекта, условия работы, механизированность, возможность восстановления и ремонта и т. п.) Наличие зависимости диагностических признаков и технического состояния элементов объекта для оценки и прогноза уровня его работоспособности Средний объем хлыста Технология разработок Рельеф Зона эксплуатации (сезон эксплуатации)
	Производственно-технологическая производительность	Квалификация рабочих Сменность (интенсивность работы) Среднее расстояние трелевки, вывозки Уровень организации труда Процентное соотношение категории дорог и т. п.
	Экономическая эффективность	Средняя удельная трудоемкость и стоимость технических воздействий Средние удельные приведенные затраты Капиталовложения и срок их окупаемо-

сти
Коэффициенты технической готовности и использования парка машин
Себестоимость единицы продукции
Прибыль
Рентабельность

Приводим исходные данные вероятностной модели процесса эксплуатации системы ЛЗМ. Отдельные состояния системы обозначены цифрами в скобках.

Работоспособное состояние:

1. Работа (1) – выполнение основных технологических операций, использование не по назначению.

2. Ожидание использования (8):

- отсутствие сырья;
- отсутствие межоперационного запаса полуфабрикатов;
- распутица;
- технологическая перебазировка;
- организационные причины.

Неработоспособное состояние:

1. Технические воздействия:

- диагностика (2);
- техническое обслуживание (3);
- текущий ремонт (4);
- капитальный ремонт (5).

2. Ожидание технических воздействий:

- ожидание и доставка запасных частей (6);
- организационные причины (7).

Граф состояний и переходов, возникающих при эксплуатации системы, представлен в виде матрицы:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & P_{17} & P_{18} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} & P_{26} & P_{27} & P_{28} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} & P_{36} & P_{37} & P_{38} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} & P_{45} & P_{46} & P_{47} & P_{48} \\ P_{51} & P_{52} & P_{53} & P_{54} & P_{55} & P_{56} & P_{57} & P_{58} \\ P_{61} & P_{62} & P_{63} & P_{64} & P_{65} & P_{66} & P_{67} & P_{68} \\ P_{71} & P_{72} & P_{73} & P_{74} & P_{75} & P_{76} & P_{77} & P_{78} \\ P_{81} & P_{82} & P_{83} & P_{84} & P_{85} & P_{86} & P_{87} & P_{88} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $p_{ij}(p_{12})$ – вероятность перехода из состояния i (1) в состояние j (2) согласно приведенному перечню состояний.

Элементы матрицы – случайные величины. Они зависят от момента времени, в который рассматривается ситуация, т. е. $p_{ij}(\Delta t) = f(\Delta t)$ определяется через период времени и известный закон распределения.

В соответствии с матрицей переходных вероятностей может быть получена система уравнений, определяющая вероятность нахождения объекта в конкретном состоянии на интервале времени Δt :

$$P_i(t + \Delta t) = \sum_{j=1}^M p_{0j} p_{ij}(t + \Delta t), \quad i = 1, 2, \dots, M. \quad (3)$$

Вероятность безотказной работы в момент времени $t + \Delta t$ равна:

$$P(t + \Delta t) = \sum_{j=1}^M P_j(t + \Delta t) \alpha_j(t) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M p_{0j} p_{ij}(t + \Delta t) \alpha_i(t), \quad (4)$$

где $\alpha_i(t)$ – условная вероятность выполнения задачи системой при условии, что она находится в состоянии x_i .

В матричном виде выражение (4) запишется как

$$P(t + \Delta t) = \bar{P}(0) p_{ij}(\Delta t) \bar{\alpha}(t), \quad (5)$$

где $p_{ij}(\Delta t)$ – матрица переходов системы за время Δt ;

$\bar{P}(0)$ – вектор-строка нулевых (начальных) состояний (вероятностей безотказной работы) системы в начальный момент времени t ;

$\bar{\alpha}(t)$ – вектор-столбец, элементами которого являются вероятности α_i .

Примем за возможные следующие состояния технической системы из последовательно соединенных элементов:

0 – работоспособное;

i – неработоспособное в случае отказа любой из составных частей, $i = 1, 2, \dots, n$ (P_{02} – вероятность того, что за время Δt откажет элемент № 2).

Граф состояний и переходов ремонтируемой системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, представлен на рисунке.

С учетом таблицы (3) и матрицы (2) может быть составлена матрица переходных вероятностей состояния ЛЗМ в исправном, неисправном и ремонтируемом состояниях, вариант которой представлен далее.

Вероятность переходов за время $t, t + \Delta t$ выражается следующим образом.

1. Если система находится в i -м состоянии (ремонтируется любая составная часть), то она может оставаться в нем в течение времени $t, t + \Delta t$ с вероятностью

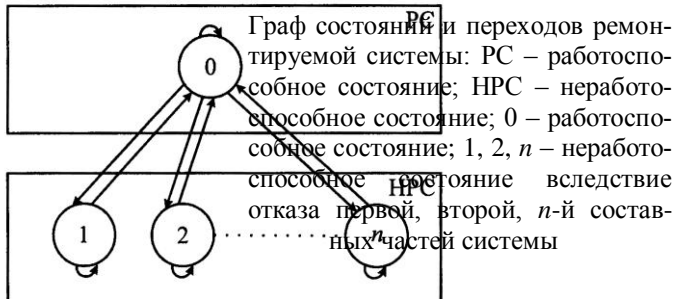
$$p_{ij}(\Delta t) = 1 - q_i(\Delta t), \quad (6)$$

где $q_i(\Delta t)$ – вероятность восстановления i -й составной части за время Δt .

2. Если система находится в состоянии 0 в момент времени t , то

$$P_{00}(\Delta t) = p_1(\Delta t) p_2(\Delta t) \dots p_n(\Delta t) = \prod_{i=1}^n p_i(\Delta t), \quad (7)$$

где $p_i(\Delta t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента в интервале времени $t, t + \Delta t$.



3. Если система находится в исправном состоянии 0 в момент времени t , то при отказе любой составной части в интервале времени $t, t + \Delta t$ она может перейти в состояние i с вероятностью

$$p_{0i}(\Delta t) = 1 - p_i(\Delta t). \tag{8}$$

Если система находится в i -м состоянии (ремонтируется), то система вернется в исправное состояние 0 за время $t, t + \Delta t$ с вероятностью

$$p_{0i}(\Delta t) = q_i(\Delta t). \tag{9}$$

Матрица переходных вероятностей $P(\Delta t)$ для системы с последовательно расположенными составными частями при произвольных законах распределения времени их наработки и восстановления, определяемых с помощью матрицы (2), может иметь вид:

$$P(\Delta t) = \begin{pmatrix} \prod_{i=1}^n p_i(\Delta t) & 1 - p_1(\Delta t) & \dots & 1 - p_i(\Delta t) & \dots & 1 - p_n(\Delta t) \\ q_1(\Delta t) & 1 - q_1(\Delta t) & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_i(\Delta t) & 0 & \dots & 1 - q_i(\Delta t) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_n(\Delta t) & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 - q_n(\Delta t) \end{pmatrix}. \tag{10}$$

Применительно ко всему парку лесозаготовительных машин можно выделить следующие стратегии ТО и ремонта.

Стратегия 1. Объекты системы восстанавливают в заранее назначенные календарные моменты времени по результатам диагностики и в моменты самостоятельного внезапного отказа.

Стратегия 2. Систему восстанавливают либо в момент самостоятельного (аварийного) возникновения (проявления) отказа, либо в заранее определенные календарные моменты времени.

Планирование предварительных проверок (диагностики), определяющих очередность и объемы ТО и Р, на основе баланса стоимости проверок и потерь от необнаружения неисправности системы может быть выражено следующей целевой функцией [1]:

$$M [I_3] = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \{C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - x)\} dF(x), \quad (11)$$

где $M[I_3]$ – полное ожидание потерь, р.;

C_1 – стоимость проверки (диагностики), р.;

C_2 – стоимость пребывания системы в неисправном состоянии в течение 1 ч, р./ч;

$k, k + 1$ – номер проверки;

t_k – время k -й проверки, ч;

$t_{k+1} - x$ – время между $k + 1$ -й проверкой и возникшим аварийным отказом, ч;

$F(x)$ – распределение времени до первой неисправности системы.

Схема алгоритма управления эксплуатационной эффективностью системы ЛЗМ определяется фактической информацией о переходах по состояниям процесса, результатами расчета показателей, характеристиками состояний системы ЛЗМ и эффективностью лесозаготовительного процесса.

Вывод

Предложенные теоретические основы построения экономически эффективной гибкой (адаптивной) структуры ремонтного цикла машин лесозаготовительного производства на основе оценки уровня надежности, результатов диагностирования технического состояния, прогноза остаточного ресурса и условий эксплуатации ЛЗМ составляют методологическую основу для разработки вариативных систем технического обслуживания и ремонта по состоянию организации лесозаготовительного производства и используемых ЛЗМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перроте, А.И.* О режиме оптимальной профилактики систем длительного пользования [Текст] / А.И. Перроте // Автоматика. – 1961. – № 3.
2. Создание системы технического обслуживания и ремонта обойнопечатного и грунтовоального оборудования [Текст] / И.В. Абрамов, Ю.В. Верпоховский // Целлюлоза, бумага и картон: экспресс-информ. – М.: ВЖИПИЭИлеспром, 1983. – Вып. 23. – С. 1–3.

Петрозаводский государственный университет

Поступила 15.09.05

V.N. Shilovsky, E.V. Kutyrev

To Question of Operation System Development for Logging Machines

Theoretical provisions of the system development regarding technical effect on the logging machines according to their state are offered.

