

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 539.4 : 630\*36

**ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИН  
НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ  
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

*А. В. ПИТУХИН*

Петрозаводский государственный университет

Возрастающая сложность, стоимость и производительность современной лесозаготовительной техники делают насущной задачу распознавания ее состояния в условиях эксплуатации и ремонта. В последнее время все более широкое распространение получают методы токовихревой, ультразвуковой и рентгенографической дефектоскопии, которые позволяют обнаружить макроскопические трещины. С развитием методов механики разрушения стало возможным обоснованно выбрать способ действия при обнаружении трещин в элементах конструкций лесозаготовительных машин.

Допустим, что при дефектоскопии в детали или металлоконструкции лесозаготовительной машины обнаружена трещина определенной длины  $l_T$ . Возможны при этом три способа действия: оставить объект без ремонта, провести восстановление, заменить новым. В решении этой проблемы существенную помощь может оказать теория статистических решений [2].

Обозначим пространство состояний природы вектором  $\nu$ :  $\nu_1$  — повреждение ниже допустимого;  $\nu_2$  — повреждение выше допустимого и требуется восстановление;  $\nu_3$  — повреждение настолько велико, что требуется замена. Из прошлого опыта известно, что  $\xi_1$  процентов случаев объект может находиться в состоянии  $\nu_1$ ,  $\xi_2$  — в состоянии  $\nu_2$  и  $\xi_3$  — в состоянии  $\nu_3$ . Вектор  $\xi \{ \xi(\nu_1), \xi(\nu_2), \xi(\nu_3) \}$  называется смешанной стратегией природы и определяет вероятность состояния объекта. Пространство чистых стратегий статистика  $\{a_1, a_2, a_3\}$  определяет возможные его действия:  $a_1$  — оставить объект без ремонта;  $a_2$  — провести восстановление;  $a_3$  — заменить новым.

Обозначим  $C(\nu, a)$  — функция потерь, определяемая действиями статистика и состоянием природы. Потери при различных способах действия можно представить матрицей [2].

$\nu$	$\xi(\nu)$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$\nu_1$	$\xi_1$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$
$\nu_2$	$\xi_2$	$C_{21}$	$C_{22}$	$C_{23}$
$\nu_3$	$\xi_3$	$C_{31}$	$C_{32}$	$C_{33}$

Функции  $C_{ji}$  будут определяться сферой применения данного метода (лесосека, РММ, РМЗ), т. е. теми условиями, в которых проводится диагностика. Средние потери  $L(\xi, a_i)$ , которые несет статистик (в нашем случае это лесозаготовительное предприятие), выполняя стратегию  $a_i$ , определим по формуле:

$$L(\xi, a_i) = \sum_{j=1}^3 C_{ji} \xi(v_j).$$

Наилучшим действием будет так называемое байесовское действие, при котором потери минимальны. Обозначим:

- $t_T$  — текущая наработка, при которой обнаружена трещина длиной  $l_T$ ;
- $t_n$  — предельная нормативная наработка, после которой эксплуатация прекращается (до капитального ремонта, например);
- $C_n$  — производительность лесозаготовительной машины, р./ч;
- $C_{он}$  — стоимость нового объекта (детали, металлоконструкции);
- $C_{рс}$  — стоимостные потери на разборку, установку детали и сборку. Учитывают стоимость работ и связанные с ними потери простоя;
- $C_v$  — стоимость работ по устранению дефекта, р.;
- $T_{пр}$  — среднее время ожидания (простоя) устранения отказа, возникшего в условиях эксплуатации;
- $T_{вд}$  — среднее время устранения дефекта при восстановлении.

Определим потери при различных стратегиях для случая проведения диагностики в условиях РММ:  $C_{11}$  — повреждение ниже допустимого, и объект не ремонтируется;  $C_{12}$  — то же, но объект восстанавливается;  $C_{13}$  — то же, но объект заменяется новым;

$$C_{11} = 0; C_{12} = C_{рс} + T_{вд}C_n; C_{13} = C_{рс} + C_{он};$$

$C_{21}$  — повреждение выше допустимого и требуется восстановление, но объект оставлен без ремонта;  $C_{22}$  — то же, требуется восстановление и объект восстановлен;  $C_{23}$  — то же и возможно восстановление, но объект заменен новым;

$$C_{21} = C_{рс} + C_{он} + T_{пр}C_n; C_{22} = C_{рс} + T_{вд}C_n + C_v; C_{23} = C_{рс} + C_{он};$$

$C_{31}$  — повреждения велики и требуется замена, но объект оставлен без ремонта;  $C_{32}$  — то же, но объект восстановлен;  $C_{33}$  — то же и объект заменен новым;

$$C_{31} = C_{рс} + C_{он} + T_{пр}C_n; C_{32} = C_{рс} + C_{он} + T_{пр}C_n + C_{рс} + T_{вд}C_n + C_v; C_{33} = C_{рс} + C_{он}.$$

При длине трещины  $l_T$  и предстоящем периоде эксплуатации  $t_n - t_T$  по данным наблюдений определяем вероятность нахождения объекта в одном из трех состояний:  $\xi(v_1)$ ,  $\xi(v_2)$ ,  $\xi(v_3)$ . Если опытных данных нет, то предложенными в данной работе методами с использованием механики разрушения можно определить  $\xi_1$  — вероятность безотказной работы за период  $t_n - t_T$ . Действительно, вероятность безотказной работы и есть вероятность того, что объект исправен, ремонт не требуется и он будет функционировать в соответствии с техническими условиями до прекращения эксплуатации.  $\xi_2$  и  $\xi_3$  определяются из дополнительных соображений на основании производственного опыта. Очевидно, что должно выполняться условие  $\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1$ .

Средние потери при первом способе действия

$$L(\xi, a_1) = C_{11}\xi_1 + C_{21}\xi_2 + C_{31}\xi_3 = (1 - \xi_1)(C_{рс} + C_{он} + T_{пр}C_n);$$

при втором

$$L(\xi, a_2) = C_{рс} + T_{вд}C_n + \xi_2C_v + \xi_3(C_{рс} + C_{он} + T_{пр}C_n + C_v);$$

при третьем

$$L(\xi, a_3) = C_{рс} + C_{он}.$$

Минимальные потери определяют наилучший способ действия при наличии в объекте трещины длиной  $l_T$ .

Для практических целей удобно определить в зависимости от наработки допустимую длину трещины  $l_d$ , при которой восстановление не требуется, и предельную длину трещины  $l_n$ , при которой целесообразна замена объекта новым. Для этого необходимо при наработке  $t_T$  для различных трещин  $l_T$  определять вероятности  $\xi_1, \xi_2, \xi_3$  и средние потери при трех способах действия. Допустимая длина трещины определится из условий

$$L(\xi, a_1) \leq L(\xi, a_2) \wedge L(\xi, a_1) \leq L(\xi, a_3);$$

предельная — по условиям

$$L(\xi, a_3) \leq L(\xi, a_1) \wedge L(\xi, a_3) \leq L(\xi, a_2).$$

При  $l_d \leq l_T \leq l_n$  необходимо восстанавливать объект. Рис. 1 иллюстрирует предложенный способ определения  $l_d$  и  $l_n$  для произвольной наработки  $t_T$ . Делая расчет при различных значениях  $t_T$ , получим зависимость допустимой и предельной длины трещины от наработки (рис. 2).

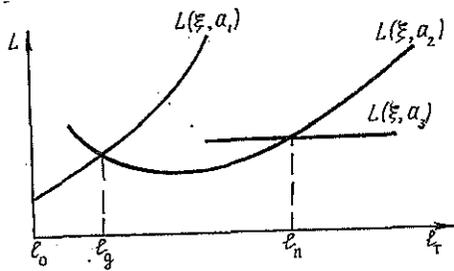


Рис. 1. К определению допустимой и предельной длины трещины при наработке  $t_T$

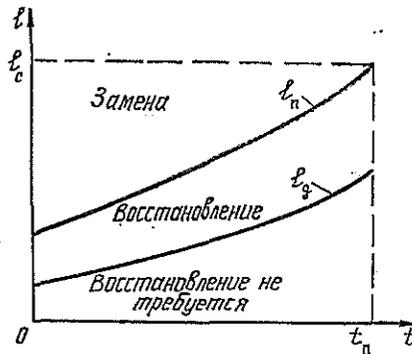


Рис. 2. Зависимость допустимой и предельной длины трещины от наработки

Рассмотрим метод определения вероятности безотказной работы  $\xi_1$  за оставшийся ресурс  $t_n - t_T$  при наличии трещины длиной  $l_T$ . Полагаем известной функцию распределения амплитуд напряжений. Обозначим:  $\sigma_{ai}$  — амплитуда  $i$ -го уровня;  $n_i$  — число циклов повторения амплитуд  $\sigma_{ai}$  в блоке нагружения;  $N_b, T_b$  — объем блока нагружения.

Скорость роста усталостной трещины описываем уравнением Пэриса [1]. Проведя его интегрирование, получим рекуррентную формулу:

$$l_i = [0,5(2 - n)CY_1(l_{i-1})\pi^{n/2}n_i\sigma_{ai}^n + l_{i-1}^{2-n}]^{\frac{2}{2-n}}, \quad (1)$$

где  $Y_1(l)$  — коэффициент, учитывающий геометрическую форму детали и длину трещины  $l$ ;

$n, C$  — константы уравнения Пэриса.

Усталостная трещина развивается от размера  $l_T$  до критического  $l_c$ . При достижении  $l_i$  значения  $l_c$  происходит квазихрупкий долом.

Пусть блок нагружения имеет  $m$  уровней. По формуле (1) легко определить  $l_1, \dots, l_m$ . Если  $l_m < l_c$ , то принимаем  $l_0 = l_m$  и повторяем вычисление. Так поступаем до тех пор, пока не выполнится условие  $l_i \geq l_c$ . При этом остаточный ресурс определится

$$T_c = T_0 k_0 + \frac{T_0}{N_0} \sum_{j=1}^i n_j, \quad (2)$$

где  $k_0$  — число полных блоков, предшествующих появлению трещины критической длины.

Для оценки среднего значения, дисперсии и закона распределения остаточного ресурса  $F(T_c)$  (или  $\xi_1$ ) необходимо привлечь метод статистических испытаний (Монте-Карло). Полагаем случайными величинами  $l_c$ ,  $C$ ,  $n$  и  $r$  геометрических параметров объекта  $\{XP\} = \{XP_1, \dots, XP_r\}$ . Все эти случайные величины имеют соответствующие законы распределения.

Рекомендуем такую последовательность расчета.

1. Задаем число испытаний  $N_1$  и другие необходимые данные.
2. Разыгрываем на ЭВМ по соответствующим законам распределения случайную реализацию вектора начальных параметров.
3. Располагаем уровни нагрузки в блоке нагружения в случайном порядке.
4. Подсчитываем по рекуррентной формуле (1) текущие значения длины трещины, сравнивая с предельным значением  $l_c$ .
5. При условии  $l_i \geq l_c$  определяем по формуле (2) значение наработки до отказа при наличии трещиноподобного дефекта (или остаточный ресурс)  $T_c$ .
6. Повторяем вычисления по пунктам 2—5  $N_1$  раз. В результате получаем выборку  $T_c^{(1)}, \dots, T_c^{(N_1)}$ .
7. Обрабатываем выборку методами математической статистики для получения необходимых статистических оценок: среднего остаточного ресурса  $\bar{T}_c$ , среднего квадратичного отклонения  $\sigma_{T_c}$ , функции распределения, вероятности безотказной работы  $\xi_1$ .

По приведенному алгоритму была составлена программа на языке FORTRAN для оценки распределения остаточного ресурса элементов конструкций лесозаготовительных машин. Время счета на ЭВМ ЕС-1035 около 40 мин.

В качестве примера рассмотрим диагностику в условиях РММ невозстановливаемого объекта-балансира подвески перспективного лесопромышленного трактора ТБ-1М. Согласно данным ОТЗ и КарНИИЛП, полагаем  $C_{оп} = 42,50$  р.;  $C_{рс} = 25,47$  р.;  $C_{п} = 15,37$  р./ч;  $T_{пр} = 5$  ч. Предположим, что в сечении балансира около оси катка обнаружена полуэллиптическая поверхностная трещина (литейная раковина) длиной 9 мм и глубиной 6 мм. Методами статистической механики разрушения определяем  $\xi_1 = 0,70$ . При этом имеем  $L(\xi, a_1) = 43,45$  р., а  $L(\xi, a_3) = 67,97$  р., следовательно, замена балансира нецелесообразна. Аналогично для дефекта длиной 12 мм и глубиной 8 мм получаем  $\xi_1 = 0,25$ ;  $L(\xi, a_1) = 108,62$  р.;  $L(\xi, a_3) = 67,97$  р., что говорит о целесообразности замены. Предельные длина и глубина дефекта составляют соответственно 10 и 7 мм и определены из условия  $L(\xi, a_1) = L(\xi, a_3)$ . Как показали исследования отказавших балансиров, средняя длина максимального дефекта в изломе равна 9,1 мм, что достаточно хорошо соответствует расчетным данным. Согласно ОСТ 23.2470—77, допустимая длина одиночных раковин при изготовлении балансира составляет 6 мм, глубина — 3 мм. Соответствие этим требованиям, как показали расчеты, гарантирует безотказную работу с вероятностью 0,95.

Анализируя результаты, можно сделать вывод, что теория статистических решений и методы механики разрушения позволяют оценить допустимую и предельную длину трещин и принимать обоснованные решения при диагностике лесозаготовительной техники.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Броек Д. Основы механики разрушения.— М.: Высш. школа, 1980.— 368 с. [2]. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Энергия, 1980.— 424 с.

Поступила 2 июня 1987 г.

УДК 630\*375.4

## ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ МАНИПУЛЯТОРА МТТ-10

Э. А. ДВАРАНАУСКАС, А. В. ЖУКОВ, И. К. ИЕВИНЬ,  
Р. П. РАМАНАУСКАС, Б. К. АНДРИКАЙТИС, Р. И. ЗЕМЛИС

ЛитНИИЛХ, Белорусский технологический институт  
НПО «Силава»

Рубки ухода за лесом — важное лесохозяйственное мероприятие по формированию оптимального породного состава и повышению качества древостоев. Они дают значительный объем ликвидной древесины, что имеет особое значение в малолесных районах страны. Одна из основных причин, сдерживающих их дальнейшее развитие, — недостаток специального оборудования для механизации работ, отвечающего лесоводственным требованиям. Уровень механизации труда на прореживаниях, проходных и санитарных рубках составляет лишь 34,3 %.

В лаборатории механизации ЛитНИИЛХа разработан трелевочный манипулятор МТТ-10 на базе трактора «Беларусь» (рис. 1). Он имеет трехсекционную телескопическую стрелу, установленную на несущей защитной раме над кабиной. Зона обслуживания ограничена радиусом 10 м и углом в плане 2,62 рад (150°).

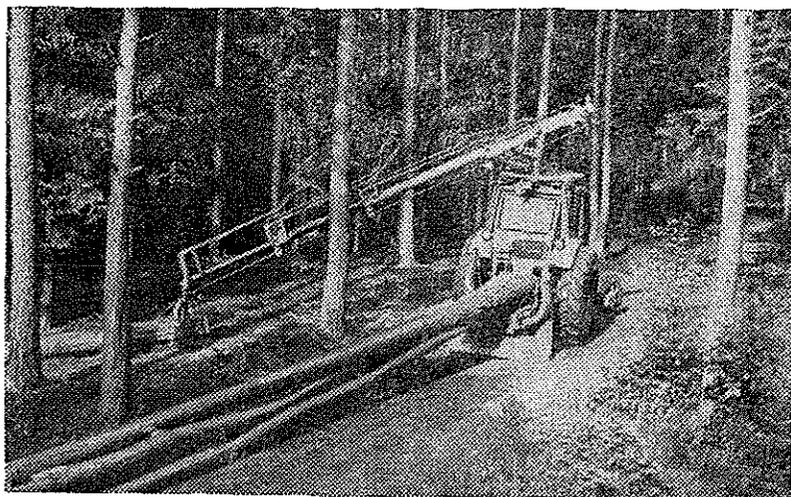


Рис. 1. Манипулятор с телескопической стрелой МТТ-10 (подтаскивание хлыста за комель)

Основное назначение манипулятора — подтаскивание предварительно поваленных и очищенных от сучьев деревьев, а также сортиментов к технологическому коридору и сбор пакета для его последующей трелевки до погрузочной площадки. В этом технологическом процессе основной операцией является подтаскивание хлыстов (подтрелевка), которая сопровождается возникновением динамических нагрузок, влияющих на нагруженность отдельных элементов манипулятора и устойчивость трактора.