

УДК 622.023.2:004.42

И. А. Паначев, М.Ю. Насонов, А.Б.Желтышев

## ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПРОГНОЗ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ШАГАЮЩИХ ЭКСКАВАТОРОВ

На сегодняшний день средства и методы неразрушающего контроля позволяют обнаруживать в металлоконструкциях экскаваторов дефекты различного происхождения.

По результатам наблюдения за сварными швами металлоконструкций шагающих экскаваторов, ультразвуковым методом неразрушающего контроля и их вскрытия установлено, что наиболее характерными плоскостными внутренними дефектами в сварных соединениях являются подрезы и непровары (рис. 1).

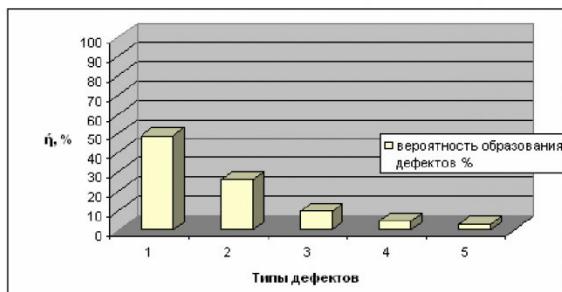


Рис. 1. Распределение вероятности возникновения дефектов сварных швах металлоконструкциях экскаватора ЭШ 10/70 по видам:  
1 – подрезы, 2 – непровары, 3 – наплывы, 4 – поры и раковины, 5 – шлаковые включения

Они соответственно составляют 50 и 25 % от всех сварных дефектов в металлоконструкциях экскаваторов. Но необнаруживаемыми т.е. опасными все же являются больше непровары. Глубина непровара в стыковых соединениях в значительной мере определяется типом соединения и толщиной свариваемых элементов. Обычно непровары располагаются в корне шва по поверхностям свариваемых кромок. Распределение непроваров корня шва по размеру подчиняется закону Вэйбула (рис. 2).[1]

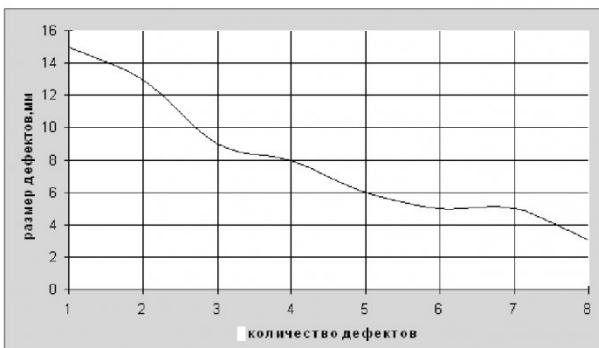


Рис. 2. Распределение количества непроваров корня шва в зависимости от их размеров в металлоконструкциях шагающего экскаватора ЭШ 10/70

Различные типы предельных состояний характеризуются критическими размерами дефектов, зависящими от свойств материала, от температуры, от условий нагружения и других факторов. Если какие-либо параметры являются случайными, то полученные вероятности имеют смысл условных вероятностей. Основным источником неопределенности является предельное значение размеров дефектов, зависящее от ряда случайных факторов.

Для оценки безусловных вероятностей отказов используется формула полной вероятности:

$$H_j = \int_{D} \dots \int H_j(x_1, \dots, x_m) p(x_1, \dots, x_m) dx_1 \dots dx_m$$

где  $p(x_1, x_2, \dots, x_m)$  – совместная плотность вероятности параметров. Интегрирование проводится по всей области  $D$  изменения параметров.

Вероятность разрушений в  $H_0$  к моменту очередного контроля  $t = t_0$  определяется вероятностью необнаружения дефектов размером  $l$ , превышающим допустимый размер  $l^*$ . При продолжении эксплуатации дефекты, размеры которых не превышали предельных значений, подрастают и с течением времени могут достичь критических размеров.

Пусть к моменту времени  $t = t_0$  имеется одиничный размером  $l$ . Этот дефект системой контроля может быть обнаружен с вероятностью  $1 - P_a(l)$ . Рост дефектов будем описывать уравнением

$$\frac{dl(t)}{dt} = CK^m(t) \quad (1)$$

где  $C$  и  $m$  – эмпирические константы;  $K(t) = \chi\sigma(t)\sqrt{l(t)}$  – коэффициент интенсивности напряжений, зависящий от уровня напряжений, от размеров дефекта, от свойств материала и других факторов, параметр напряжения  $\sigma$  зависит от параметра раз渲а взорванной горной массы.

Решение уравнения (1), получаемое, как правило, численно с начальным условием  $l(t_0) = l_0$ , зависит от ряда случайных факторов. Эта зависимость определяется случайнм характером  $K$ , неопределенностью свойств материала и т.д. Обозначим вектор случайных параметров через  $y$  с компонентами  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_p$ . Тогда решение уравнения (1) можно представить в виде :

$$l(t) = l(y_1, y_2, y_3, \dots, y_p; t) \quad (2)$$

К моменту  $t$  размер дефекта  $l(t)$  будет случайнм с плотностью вероятности  $p_l(l; t)$ , где  $t$  играет роль параметра. Для нахождения распределения  $p_l(l; t)$  воспользуемся правилами вычис-

ления распределений для детерминистических функций случайных величин [5, формула (6)]. В частности, если имеется детерминистическая функция (1), то функция распределения  $F_l(l; t)$  находится так

$$F_j = \int_{D[l, l]} \dots \int p_y(y_1, y_2, \dots, y_p) dy_1 dy_2 \dots dy_p \quad (3)$$

где область интегрирования находится из условия  $l(t) = l(y_1, y_2, y_3, \dots, y_p; t) < l$ .

Остаточный ресурс  $\theta$  определяется как продолжительность эксплуатации после очередного контроля, в течение которого размер дефекта подрастает до критического значения  $l^*$ . Он находится как корень уравнения  $l(\theta) = l^*$ .

Даже при фиксированных значениях  $l^*$  ресурс  $\theta$  будет случайной величиной. Это связано со случайной зависимостью  $l(t)$ . Дополнительную неопределенность вносит случайный характер критического размера  $l^*$ . Плотность вероятности находится по тем же правилам, что и (3)

$$F_{j^*}(l^*) = \int_{D[l^*]} \dots \int p(x_1, \dots, x_m) dx_1 \dots dx_m. \quad (4)$$

Область интегрирования находится из условия  $l(t) = l(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m; t) < l^*$ . Вероятность разрушения по критерию остаточного ресурса находится как вероятность выполнения неравенства  $l(t) > l^*$ :  $H_\theta(t) = P\{l(t) > l^*\}$ . При известных законах распределения  $p_l(l, t)$  и  $p_{l^*}(l^*)$ , определяемых по формулам (3) и (4), эта вероятность находится как

$$H_\theta(t) = \iint_{D[l, t; l^*]} p_l(l, t) p_{l^*}(l^*) dl^* dl. \quad (5)$$

Формулу (5) можно упростить, проинтегрировав по одной из переменных в области  $D[l, t, l^*]$ :

$$H_\theta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ p_l(l, t) \int_{-\infty}^l p_{l^*}(l^*) dl^* \right] dl = \int_{-\infty}^{\infty} p_l(l, t) F_{l^*}(l) dl \quad (6)$$

Другую эквивалентную форму получим, взяв в качестве независимой переменной  $l^*$

$$\begin{aligned} H_\theta(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \left[ p_{l^*}(l^*, t) \int_{l^*}^{\infty} p_l(l, t) dl \right] dl^* = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} p_{l^*}(l^*) [1 - F_l(l^*, t)] dl^* \end{aligned} \quad (7)$$

Рассмотренная схема оценки вероятности разрушения металлоконструкций шагающих экскаваторов по критерию остаточного ресурса учитывает рост одиночного дефекта. При наличии множества начальных дефектов с различными размерами будем считать, что их рост происходит независимо. Разобьем весь интервал начальных размеров

дефектов, как обнаруженных в результате контроля, так и пропущенных, на подинтервалы со средними начальными размерами  $l_k$ . Ожидаемое число дефектов, попавших в  $k$ -ый интервал, определяется через математическое ожидание  $k_k$  числа обнаруженных в результате контроля дефектов в этом интервале и через вероятность их обнаружения  $P_a(l_k)$  по формуле:

$$\mu_k = \frac{k_k}{P_a(l_k)}.$$

Суммарная вероятность разрушений при наличии множества дефектов находится как:

$$H_\theta(t) = \sum_{\forall k} \mu_k H_k(t),$$

где  $H_k(t)$  - вероятность разрушений, вычисленная по формуле (6) или (7) при начальном размере дефекта  $l_k$ .

Окончательно с учетом вероятности разрушений к моменту контроля  $t_0$  для вероятности разрушений в момент времени  $t > t_0$  получим:

$$H(t) = H_0 + H_\theta(t), \quad (8)$$

где вероятность  $H_0$  находится по [5, формула (7)].

По формуле (8) можно оценить увеличение риска с течением времени эксплуатации после очередного контроля. Эта формула позволяет также оценить остаточный ресурс из условия не-превышения вероятностью отказов предельного значения  $H^*$ . Расчетное значение остаточного ресурса  $\Theta^*$  находится как корень уравнения  $H(\Theta) = H^*$ .

Учет различных типов дефектов производится по формуле:

$$H_m(t) = \sum_{j=1}^n H_j(t),$$

где вероятности разрушений  $H_j(t)$  для каждого типа дефектов определяются согласно (18).

Таким образом, используя вышеизложенный подход, параметры настройки приборов неразрушающего контроля и результаты обследования металлоконструкций шагающих экскаваторов, можно прогнозировать остаточный ресурс. Если степень риска, полученная по формуле (8), превышает 12 %, необходимо принимать решение о списании или разработке мероприятий для обеспечения дальнейшей безопасной работы экскаватора. В то время как для определения остаточного ресурса обычным методом требуется построение модели методом конечных элементов и расчет роста усталостных трещин по распределению нагрузок во времени.

Разработанная методика позволяет в компьютерном варианте решать вопросы оценки долговечности и остаточного ресурса сразу же при осмотре экскаватора, сокращать время простоев и излишних ремонтов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций – М.: Машиностроение, 1990. – 448с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969 – 576 с.
3. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир, 1965–450 с.
4. Болотин В.В., Чирков В.П. Асимптотические оценки для вероятности безотказной работы по моделям типа нагрузка-сопротивление // Проблемы машиностроения и надежности машин, 1992, №6. с. 3 – 10.
5. Паначев И.А, Насонов М.Ю, Желтышев А.Б. Оценка вероятности разрушения металлоконструкций экскаваторов при наличии сварочных дефектов различного типа // Вестн. КузГТУ, 2006, №6.2. С.54-56 .

□ Авторы статей:

Паначев  
Иван Андреевич  
- докт. техн.наук, проф., зав. каф.  
сопротивления материалов

Насонов  
Михаил Юрьевич  
- канд. техн.наук, доц. каф. сопро-  
тивления материалов

Желтышев  
Антон Борисович  
- аспирант каф. сопротивления  
материалов

**УДК 666.3.022.233(088.2)**

**Б.И. Коган, Ю.А. Журавлев**

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ВАЛКОВО-РОЛИКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Одним из процессов глубокой переработки угля является получение гранул, используе-

мых в качестве высокотеплоемкого топлива для энергетических и бытовых отопительных

установок. Этому процессу предшествует размол угля, в частности до фракции 5 мм в

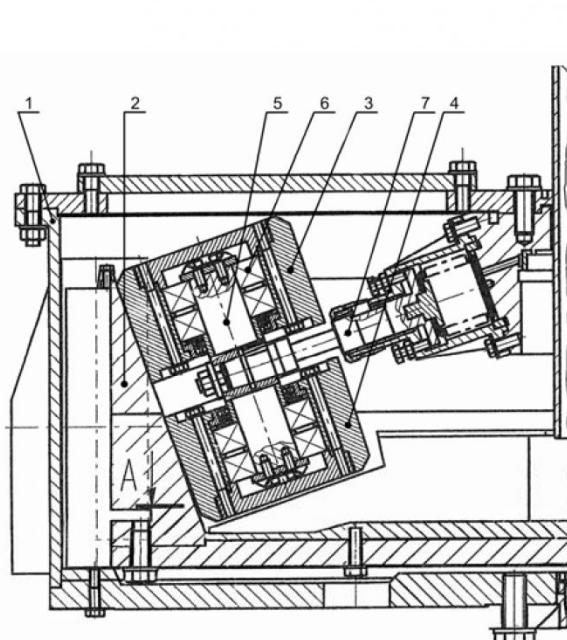


Рис. 1 : 1- корпус мельницы; 2- обечайка; 3,4 – ролики; 5 - ось; 6 - подшипник; 7 - шток

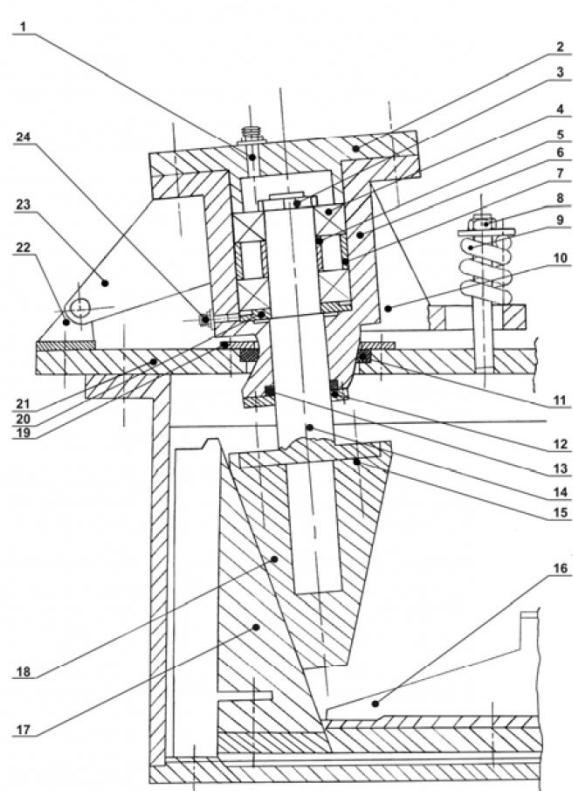


Рис. 2 :

- |                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 - Нагнетательный штуцер         | 9 - Демпфирующая пружина         |
| 2 - Фланец корпуса                | 10 - Рычаг прижатия              |
| 3 - Стопорное кольцо              | 11 - Уплотнение корпуса мельницы |
| 4 - Подшипник                     | 12 - Крышка уплотнения вала      |
| 5,7 - Втулки                      | 13 - Уплотнение вала             |
| 6 - Корпус с торообразной втулкой | 14 - Вал ролика                  |
| 8 - Гайка прижимная с шайбой      | 15 - Болт крепления ролика       |
|                                   | 16 - Размольный стол             |
|                                   | 17 - Обечайка                    |
|                                   | 18 - Размольный ролик            |
|                                   | 19 - Крышка уплотнения           |
|                                   | 20 - Маслоотбойная втулка        |
|                                   | 21 - Крышка                      |
|                                   | 22 - Кронштейн                   |
|                                   | 23 - Качающийся рычаг            |
|                                   | 24 - Штуцер сливыной             |