



## УЧЕТ РЕЖИМА РАБОТЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРАНОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО ПРИЗНАКУ ИХ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

А. М. МАКОВСКИЙ

*Рассматривается способ объединения математических моделей циклической прочности крановых деталей и классификации грузоподъемных кранов по режимам работы. В результате представляется возможным контролировать в процессе диагностирования кранов использование его режимного ресурса и накопления усталостных повреждений в деталях во взаимосвязи.*

*A method is considered for joining the mathematical models of cyclic strength of crane parts and classification of climbing cranes by operating modes. As a result it appears to be promising to monitor the consumption of crane operating life and accumulation of fatigue damage in the parts in interrelation during the crane diagnostics.*

Техническая диагностика грузоподъемных кранов делится на общепараметрическую и детальную. В первом случае, кроме внешних параметров, определяют наработку крана и сравнивают ее с заданной при проектировании, во втором — определяют фактическое физическое состояние деталей конструкции. В работе [1] нами было показано, как можно определять остаточный режимный ресурс крана на основании стандарта ISO4301 и ГОСТ 25546–82. Здесь приводятся основные аналитические зависимости, позволяющие связать наработку крана, определяемую его режимной группой, с диагностическим признаком циклической прочности деталей крана, участвующих в подъеме груза. В первую очередь сюда относятся элементы металлической конструкции, а также несущие детали механизма подъема, испытывающие число циклов нагружения в полном соответствии с числом подъемов груза.

Согласно стандартам ISO 4301 и ГОСТ 25546–82 по режиму работы грузоподъемные краны делятся на восемь групп. Каждая группа может быть описана следующим аналитическим выражением [1]:

$$K = \frac{\lg \sum_1^n \left( \frac{Q_i}{Q_{\max}} \right)^m \frac{C_i}{\alpha \beta}}{\lg 2} - 2, \quad (1)$$

где  $Q_i$  — массы грузов, поднимаемых краном за отмеченный отрезок времени;  $Q_{\max}$  — номинальная грузоподъемность крана;  $C_i$  — число подъемов грузов каждой массы;  $n$  — число выделенных грузов массы  $Q_i$ ;  $\alpha$ ,  $\beta$  — коэффициенты пропорциональности.

Введем обозначение для подлогарифмического выражения в числителе формулы (1) и назовем это выражение наработкой крана  $S$ :

$$S = \sum_1^n \left( \frac{Q_i}{Q_{\max}} \right)^m \frac{C_i}{\alpha \beta}. \quad (2)$$

Если принять  $K = K_0$ , где  $K_0$  — паспортная (расчетная) режимная группа крана, то наработка за срок службы крана  $L_0$  будет  $S = S_0$ .

Если годовая наработка крана за весь срок службы постоянна, то

$$S_0 = L_0 W_1, \quad (3)$$

где  $W_1$  — годовая наработка крана,

$$W_1 = \sum_1^n \left( \frac{Q_i}{Q_{\max}} \right)^m \frac{C_i}{\alpha \beta}.$$

Формулу (1) для полного срока службы крана можно представить так:

$$K_0 = \frac{\lg L_0 W_1}{\lg 2} - 2. \quad (4)$$

Отсюда выражение для  $L_0$  получим в виде:

$$L_0 = \frac{10^{K_0 \lg 2 + 2 \lg 2}}{W_1}. \quad (5)$$

При расчете крановых деталей на циклическую прочность используют эквивалентные напряжения в расчетном сечении

$$\sigma_э = \sigma_{\max} \sqrt[m]{\sum_1^n \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^m \frac{N_i}{N_э}}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{\max}$  — наибольшие напряжения;  $\sigma_i$ ,  $N_i$  — соответственно действующие напряжения и число их циклов;  $N_э$  — число циклов эквивалентных напряжений,  $N_э = \sum_1^n N_i$ .

В выражении (6) введем обозначение:

$$s = \sum_1^n \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^m N_i \quad (7)$$

и условно назовем его наработкой детали.



Для  $\sigma_{\text{э}}$  и  $N_{\text{э}}$ , которые приводят деталь к разрушению в расчетном сечении, существует зависимость:

$$\sigma_{\text{э}} = \sigma_{rk} \sqrt{\frac{m}{N_6/N_{\text{э}}}}, \quad (8)$$

где  $\sigma_{rk}$  — неограниченный предел выносливости материала;  $N_6$  — базовое число циклов.

Тогда

$$\sigma_{\text{max}} \sqrt{\frac{m}{S/(N_{\text{э}})}} = \sigma_{rk} \sqrt{\frac{m}{N_6/(N_{\text{э}})}}.$$

Из этого соотношения следует, что условием разрушения детали является выполнение условия:

$$s = N_6 \left( \sigma_{rk} / \sigma_{\text{max}} \right)$$

Из выражения (8)

$$N_{\text{э}} = N_6 \left( \sigma_{rk} / \sigma_{\text{э}} \right)^m.$$

С учетом (5) и (6) имеем

$$N_{\text{э}} = \left( \sigma_{rk} / \sigma_{\text{max}} \right)^m \frac{N_6}{S}. \quad (9)$$

Если принять  $S = l_0 s_1$ , где  $s_1$  — годовая наработка детали;  $l_0$  — срок службы детали до разрушения в расчетном сечении, то

$$N_{\text{э}} = \left( \frac{\sigma_{rk}}{\sigma_{\text{max}}} \right)^m \frac{N_6}{l_0 s_1}. \quad (10)$$

Обозначим

$$\left( \sigma_{rk} / \sigma_{\text{max}} \right)^m = \varepsilon. \quad (11)$$

Тогда срок службы детали

$$l_0 = \frac{\varepsilon}{s_1} \frac{N_6}{N_{\text{э}}}.$$

Обозначим

$$N_{\text{а}} / N_{\text{э}} = \nu. \quad (12)$$

Тогда

$$l_0 = \varepsilon \nu / s_1. \quad (13)$$

Сопоставим годовую наработку крана, определенную по формуле (3), с годовой наработкой детали, определенной по формуле (7). Введем коэффициент пропорциональности между  $S_1$  и  $W_1$  в предположении, что  $Q_i$  и  $\sigma_i$ , а также что  $C_i$  и  $N_i$  связаны линейно,

$$\xi = W_1 / s_1. \quad (14)$$

Примем условие, что срок службы детали  $l_0$  равен сроку службы крана  $L_0$ , т. е.

$$l_0 = L_0.$$

Тогда с учетом (4) и (13) можно получить:

$$\frac{10^{K_0 \lg 2 + 2 \lg 2}}{W_1} = \frac{\varepsilon \nu}{s_1}.$$

Дальнейшие преобразования и подстановка данных стандарта ISO 4301 приводят к такой зависимости:

$$K_0 = \frac{\lg \varepsilon \nu}{0,3} + 8. \quad (15)$$

Пусть  $\sigma_{\text{max}} = \sigma_{rk}$ ;  $N_{\text{э}} = N_6$ . Тогда  $\varepsilon \nu = 1$ ,  $\lg \varepsilon \nu = \lg 1 = 0$ ,  $K_0 = 8$ .

Пусть  $K_0 = 1$ . Тогда  $\lg \varepsilon \nu = -2,1$ ,

$$\varepsilon \nu = 10^{-2,1} = \frac{1}{10^{2,1}} \approx 0,01.$$

Из этого следует, что для  $L \leq K_0 \leq 8$  значение  $\varepsilon \nu$  изменяется в пределах  $0,01 \leq \varepsilon \nu \leq 1$ .

Из формулы (15) получим табличные значения режимной группы для разных значений  $\varepsilon \nu$  (таблица).

Табличные значения режимной группы  $K_0$

$\varepsilon \nu$	0,008	0,016	0,032	0,063	0,125	0,250	0,5	1
$K_0$	1	2	3	4	5	6	7	8

### Выводы

При диагностировании кранов определяют их режим работы, т. е. режимную группу по стандартам ISO 4301 и ГОСТ 25546-82. При этом расчетным параметром является наработка крана.

При диагностировании кранов по признаку поврежденности конструкции в результате утраты циклической прочности деталей определяют эквивалентные напряжения и число их циклов. Их сочетание можно назвать наработкой расчетного сечения детали на его циклическую прочность.

Приравнивая срок службы крана, определяемого его паспортной режимной группой, т. е. запроецированной наработкой, к сроку службы детали, определяемому действующими напряжениями и числом их циклов, можно получить аналитическую связь между наработкой краном режимной группой и ресурсом деталей конструкции по признаку их циклической прочности.

Полученные зависимости позволяют при диагностировании кранов косвенным путем определять остаточный ресурс работы элементов конструкций, определяя остаточный режимный ресурс крана по стандартам ISO 4301 и ГОСТ 25546-82.

1. ИСО 4301/1. Краны и подъемные устройства. Классификация. Общие положения.
2. ГОСТ 25546-82. Краны грузоподъемные. Режимы работы.
3. Маковский А. М. Диагностирование кранов по остаточному режимному ресурсу на основе классификации стандарта // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1991. — № 1. — С. 29-32.