

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

О.В. ЕМЕЛЬЯНОВ канд. техн. наук, доц.

*Магнитогорская государственная горно-металлургическая академия*

В последние годы при проектировании и обследовании металлических конструкций, воспринимающих в процессе эксплуатации циклические воздействия (башни, мачты, подкрановые балки, несущие конструкции мостов, газо- и нефтепроводы, резервуары, газгольдеры и др.), все более широкое применение получают методы оценки их надежности и долговечности на основе прогнозирования роста усталостных трещин. Практическая важность таких подходов определяется прежде всего тем, что в расчетных сечениях, как правило, имеет место сочетание неблагоприятных факторов (концентрация напряжений от нагрузки, наличие исходных технологических дефектов и т. д.), вызывающих зарождение усталостных трещин на ранней стадии эксплуатации (не более 10 % от общего ресурса) [1,2]. Поэтому в запас прочности и долговечности можно принять, что ресурс работы конструкции определяется главным образом кинетикой развития трещины.

Принятый в СНиП II-23-81\* расчет на выносливость имеет весьма ограниченную область применения. Расчет выполняется для циклических нагрузок с постоянной амплитудой изменения нагрузки, т. е. без учета случайного характера реальных процессов нагружения. При этом вероятность наличия в расчетных сечениях технологических дефектов, допускаемых «Правилами производства и приемки работ» СНиП III-18-79, зарождение из данных дефектов и развитие усталостных трещин не учитывается.

В настоящее время для оценки срока службы элементов конструкций случайные процессы нагружения заменяются схематизированными - блочными. При формировании блока нагружения функции распределения двух случайных величин: амплитуды  $\sigma_a$  и среднего напряжения цикла  $\sigma_m$ , полученные при статистической обработке реализаций эксплуатационного

процесса (обычно за один год) одним из методов, изложенных в ГОСТ 25.101-83, заменяют ступенчатой линией, которая в графической форме представляет собой блок нагружения. Блок нагружения состоит из  $r$  ступеней, каждой из которых соответствует амплитуда  $\sigma_{ar}$ , среднее напряжение  $\sigma_{mr}$  и число циклов повторения амплитуды и средних напряжений в ступени  $n_r$ .

Вычисление приращения трещины на каждой ступени блока нагружения осуществляется с использованием принципа линейного суммирования, т. е. без учета взаимодействия амплитуд разного уровня. Число блоков  $N_b$ , необходимое для увеличения длины трещины от начального размера  $l_0$  до предельного значения  $l_{cr}$ , определяют суммированием.

Недостатком такого подхода оценки долговечности элементов металлоконструкций является строго определенный порядок следования ступеней в блоке нагружения и периодическое повторение блоков, что не соответствует реальным условиям эксплуатации сооружений; при блочном нагружении даже изменение последовательности ступеней в блоке оказывает существенное влияние на скорость роста трещины [1].

В настоящей работе предлагается методика оценки усталостной долговечности элементов конструкций, учитывающая наличие в расчетном сечении исходных технологических дефектов сварки, случайный характер нагружения и влияние растягивающих перегрузок и сжимающих нагрузок на развитие трещин. Функция распределения долговечности расчетного сечения вычисляется методом статистического моделирования (методом Монте-Карло). Используемые в расчете исходные данные (характеристики нагрузки - амплитуда  $\sigma_{ai}$  и среднее напряжение цикла  $\sigma_{mi}$ ) рассматриваются как случайные независимые величины, для которых известны распределения и границы области значений.

Расчет надежности и долговечности элементов металлоконструкций на стадии развития усталостной трещины (от начального до предельного размера) выполняется для схематизированного процесса нагружения с учетом последовательности ступеней. Согласно [1], если схематизируемый случайный

процесс изменения номинальных напряжений  $\sigma_n(T)$  в расчетном сечении является узкополосным (коэффициент нерегулярности  $0.85 < \chi < 1$ ), то в качестве базового может быть принят гармонический процесс, эквивалентный случайному по статистическим характеристикам. При этом средние значения гармонического  $\sigma_{cp}$  и случайного  $M\sigma_n$  процессов равны, а статистически эквивалентная амплитуда гармонического воздействия

$$\sigma_{a, экв} = \sqrt{2 \times D_{\sigma_n}}, \quad (1)$$

где  $D_{\sigma_n}$  - дисперсия номинальных напряжений исходного процесса  $\sigma_n(T)$ .

С помощью стандартной программы, генератора равномерно-распределенных чисел, осуществляется выбор случайным образом номера ступени нагружения, числа реализуемых в данный момент циклов ступени  $n_j$  ( $n_j \leq n_{общ. см}$ ).

В качестве исходной информации при назначении начального размера поверхностной трещины следует ориентироваться на вероятные характеристические размеры исходных дефектов.

Для расчета кинетики роста усталостной трещины используется концептуальный подход и математический аппарат механики разрушения. Приращение поверхностной полуэллиптической трещины в направлении малой "а" и большой "с" полуосей за число циклов  $n_j$  выполняется по формулам:

$$\begin{aligned} a_j &= a_{(j-1)} + \sum_{k=1}^n C \times (K \sigma_i \times \Delta K_j)^m \times \Delta n_{jk} \\ c_j &= c_{(j-1)} + \sum_{k=1}^n C \times (K \sigma_i \times \Delta K_j)^m \times \Delta n_{jk}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $K\sigma_i$  – множитель, учитывающий влияние концентрации напряжений;

$\Delta K_j$  – размах коэффициента интенсивности напряжений;

$C$  и  $m$  – параметры циклической трещиностойкости.

При достижении поверхностной трещиной глубины  $A = 0.9 \times t_{cm}$  - трещина рассматривается как сквозная. Приращение сквозной трещины за число циклов  $n_j$  определяется согласно

$$l_j = l_{(j-1)} + \sum_{k=1}^n C \times (\Delta K_j)^m \times \Delta n_{jk} \quad (3)$$

Влияние на кинетику роста трещины взаимодействия циклов различных уровней, воздействия сжимающих нагрузок, а также оценка размера зоны замедленного роста трещины  $r_{ij}$  выполняется согласно методики, изложенной в работах [1,3,4,5].

Предельные размеры усталостной трещины  $l_{cr}$  принимаются минимальными из совокупности значений, полученных при возможных предельных состояниях расчетного сечения [1].

Долговечность расчетного сечения  $N_d$  определяется суммарным числом блоков нагружения  $\sum N_k$ , при котором трещина достигает предельного размера  $l_{cr}$ .

В результате статистической обработки массива значений  $N_d$  определяются значения ординат функции распределения усталостной долговечности  $F(N_d)$  и функции надежности

$$H(N_d) = 1 - F(N_d). \quad (4)$$

Поскольку функция надежности характеризует вероятность безотказной работы конструкции в течении определенного интервала времени ее эксплуатации, то получаемая эмпирическая зависимость  $H(N_d)$  позволяет оценить с наперед заданной обеспеченностью остаточный ресурс эксплуатирующихся конструкций, а при проектировании решить ряд важных прикладных задач:

- разработка безопасных на протяжении планируемого срока эксплуатации конструкций;
- проектирование сооружений с заданным сроком службы;
- обоснованно назначить периодичность профилактических осмотров конструкций с целью своевременного обнаружения растущих трещин.

*Библиографический список*

1. Злочевский А.Б. Долговечность элементов конструкций в связи с кинетикой усталостного разрушения: Дис. ... д-ра техн. наук. М., 1985. 383 с.
2. Карзов Г.П., Леонов В.П., Тимофеев В.Т. Оценка технической прочности сварных узлов с технологическими дефектами // Малоцикловая усталость сварных конструкций. Л.: ЛДНТП, 1973. С. 57-62.
3. Шувалов А.Н. Влияние испытательной перегрузки на усталостную долговечность листовых конструкций: Дис. канд. техн. наук. М., 1982. 218 с.
4. Емельянов О.В. Влияние сжимающих нагрузок на усталостную долговечность элементов металлоконструкций: Дис. канд. техн. наук. М., 1990. 181 с.

## **ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОТКРЫТОЙ ПОДКРАНОВОЙ ЭСТАКАДЫ**

А.И. ЗАЙКИН канд. техн. наук, доц.,

А.А. ВАРЛАМОВ канд. техн. наук, доц.,

О.В. ЕМЕЛЬЯНОВ канд. техн. наук, доц.,

Р.М. КАРИМОВ канд. техн. наук, доц.

*Магнитогорская государственная горно-металлургическая академия*

Подкрановая эстакада Бакальского рудоуправления служит для складирования агломерата и погрузки его в железнодорожные вагоны. Эстакада оборудована мостовыми грейферными кранами грузоподъемностью 20 т. Режим работы кранов - тяжелый.

Эстакада двупролетная с пролетами 24,75 м и шагом колонн 10,72 м. Общая длина эстакады 128,64 м при двух температурных блоках. Отметка верха колонн 12,24 м. Ориентация оси эстакады - с запада на восток.