

УДК 624.193.4:624.194.8

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ИЗНОСЕ

В.М. Кобринец, Ю.В. Заволока, М.В. Заволока (Одесса)

Если строительные конструкции в процессе эксплуатации подвергаются износу, то это приводит к изменению их напряженного состояния, несущей способности и времени надежной эксплуатации. В данном исследовании сделана попытка решения этих вопросов в аналитическом виде в линейной постановке и по недеформируемой схеме, как первое приближение к более точному решению.

В результате специфических технологических процессов либо воздействия агрессивных сред может произойти износ наружной поверхности конструкций. Этот процесс следует рассматривать в двух аспектах — симметричное и несимметричное накопление повреждений.

В первом случае изменение напряженного состояния не происходит. Но для сжатых стержней уменьшается критическая сила и величина критического напряжения, увеличивается гибкость.

$$P_{кр} = P_{кр}^0 (1 - 2\mu_u)^4, \quad (1)$$

$$\sigma_{кр} = \sigma_{кр}^0 (1 - 2\mu_u)^2, \quad (2)$$

$$\lambda_{кр} = \frac{\lambda_{кр}^0}{(1 - 2\mu_u)}. \quad (3)$$

Здесь: $\mu_u = \frac{h_u}{h}$ — для прямоугольного сечения, либо:

$$\mu_u = \frac{h_u}{d} \quad \text{— для круглого сечения,}$$

h_u — глубина износа.

Если износ материала происходит по части поверхности конструкции, то в этом случае сжатые стержни станут внецентренными сжатыми. Рассмотрим сжатые стержни прямоугольного сечения $b \times h$ у которого три грани защищены, а износ происходит только по одной правой грани "b". Из ряда предложений по аппроксимации износа принимаем глубину слоя в виде

$$h_u(t) = h_u e^{-\beta/t}, \quad (4)$$

что означает ограниченное накопление повреждений на глубине h_u . И в формуле неограниченного износа [1]

$$h_u(t) = a \sqrt[n]{t} \quad (5)$$

Эксцентриситет, который появляется в следствии слоя износа составляет

$$e(t) = \frac{h_u(t)}{2} \quad (6)$$

Проанализируем влияние износа в формуле (4). Остающаяся площадь поперечного сечения за вычетом износа

$$A_1(t) = A(1 - \mu_u e^{-\beta/t}) \quad (7)$$

и момент сопротивления

$$W_1(t) = W(1 - \mu_u e^{-\beta/t})^2. \quad (8)$$

Напряжения в крайних волокнах

$$\sigma_1(t) = \sigma_0 \frac{1 + 2\mu_u e^{-\beta/t}}{(1 - \mu_u e^{-\beta/t})^2}, \quad (9)$$

$$\sigma_2(t) = \sigma_0 \frac{4\mu_u e^{-\beta/t} - 1}{(1 - \mu_u e^{-\beta/t})^2}. \quad (10)$$

С увеличением глубины износ напряжения $\sigma_2(t)$ уменьшаются, могут стать равными нулю и даже растягивающими.

Время, когда $\sigma_2(t) = 0$, это — время, когда эксцентриситет достигает расстояния до ядровой точки

$$t_{я} = \beta / \ln(4\mu_u). \quad (11)$$

Соответственно этому глубина износа и эксцентриситет будут составлять:

$$h_u = 0.25h; \quad e = 0.125h. \quad (12)$$

Время появления трещин наступит, когда $\sigma_2(t)$ — достигнет значения $2R_p$. Для однородного бетонного сжатого стержня это время определяется следующим образом

$$t_{Rp} = \beta / \ln \frac{\mu_u}{(1 + 2c_1) + \sqrt{4c_1^2 + 3c_1}}, \quad (13)$$

$$c_1 = \frac{\sigma_0}{R_p}.$$

Появление трещин в растянутой зоне означает разрушение. Соответственно этому состоянию определяется несущая способность

$$N_{Rp} \leq \frac{2R_p A \left(1 - \mu_u e^{-\beta/tR}\right)^2}{1 - 4\mu_u e^{-\beta/tR}}. \quad (14)$$

При определенном эксцентриситете напряжения в наиболее сжатом волокне может достичь предела прочности $\sigma_1 = R_b$, а продольная сила достигнет значения:

$$N_{Rb} = R_b A \frac{\left(1 - \mu_u e^{-\beta/tRb}\right)^2}{1 + 2\mu_u e^{-\beta/tRb}}, \quad (15)$$

при соответствующем времени t_{Rb}

$$t_{Rb} = \frac{\beta}{\ln \frac{\mu_u}{(1 + c_2) + \sqrt{c_2^2 + 3c_2}}}, \quad (16)$$

$$c_2 = \frac{\sigma_0}{R_b}.$$

В крайнем сжатом и растянутом волокнах исчерпание прочности произойдет одновременно, если $t_{Rp} = t_{Rb}$, а несущая способность будет

$$N_{RpRb} = 0,75 A R_b \left(1 - \frac{2R_p}{R_b}\right). \quad (17)$$

Коэффициент влияния износа на несущую способность за время t_R составляет

$$K_u = 0,75 \left(1 - \frac{2R_p}{R_b}\right). \quad (18)$$

Для бетонов классов В12,5...В60 отношение $2R_p/R_b$ находится в пределах 0,1764...0,1. В связи с этим коэффициент износа находится в пределах

$$0,6177 < K_u < 0,675.$$

При $t > t_R$ ($t_{Rp} = t_{Rb}$) начнется разрушение. Следовательно t_{Rp} это время надежной эксплуатации.

Для математической модели износа (5), напряжения в крайних волокнах определяются следующим образом

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1(t) &= -\sigma_0 \frac{1 + 2\mu_a \sqrt[n]{t}}{(1 - \mu_a \sqrt[n]{t})^2}, \\ \sigma_2(t) &= \sigma_0 \frac{4\mu_a \sqrt[n]{t} - 1}{(1 - \mu_a \sqrt[n]{t})^2}. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Время, когда $\sigma_2(t_R)$ станет равным нулю

$$t_{я} = \left(\frac{1}{4\mu_a} \right)^n; \quad \mu_a = \frac{a}{h}, \quad (19)$$

и время появления трещины

$$t_{Rp} = \left[\frac{\mu_a}{(1 + 2c_1) + \sqrt{4c_1^2 + 3c_1}} \right]^n, \quad (20)$$

несущая способность при достижении прочности по растянутым волокнам:

$$N_{Rp} = 2R_p A \frac{(1 - \mu_a \sqrt[n]{t})^2}{4\mu_a \sqrt[n]{t} - 1}, \quad (21)$$

по сжатым:

$$N_{Rb} = R_b A \frac{(1 - \mu_a \sqrt[n]{t})^2}{1 + 2\mu_a \sqrt[n]{t}}, \quad (22)$$

И соответственно к этому значению N_{Rb} , время t_{Rb} достигнет величины

$$t_{Rb} = \left[\frac{\mu_a}{(1 + c_2) + \sqrt{c_2^2 + 3c_2}} \right]^n \quad (23)$$

Условие (19) при неограниченном износе будет выполняться всегда. При ограниченном износе условие (12) будет выполняться, если $h_u(t_{я})$ достигнет этого значения за конечное время (11).

Выводы:

1. Технологический износ либо разрушение наружной поверхности конструкции под влиянием агрессивных сред, приводит к увеличению напряжений, гибкости, снижению несущей способности и сокращению срока надежной эксплуатации.

Если требуемое время эксплуатации $t_{э}$ меньше времени t_R , то в этом случае износ можно не учитывать.

Литература

1. А.И. Аширов. К расчету цилиндрических резервуаров при одностороннем коррозионном износе. Исследование по прочности и надежности строительных конструкций. Труды ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, М., 1988, -с. 140-147.