

## ОСОБЕННОСТИ СИЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ КОРРОЗИЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМУ НАГРУЖЕНИЮ

В.М. БОНДАРЕНКО, *д-р техн. наук, профессор, академик РААСН  
Московская государственная академия коммунального хозяйства  
и строительства;*  
111024, Москва, ул. Старообрядческая, 30/32, [migal-64@mail.ru](mailto:migal-64@mail.ru)

*Обосновываются и вносятся предложения по учету диссипативного влияния гистерезисных энергопотерь и коррозионных повреждений материалов железобетона на силовое сопротивление конструкций деформированию при знакопеременном нагружении.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *диссипативное влияние, коррозионные повреждения, деформирование.*

Многим искусственным строительным материалам объективно присущи такие свойства, как старение и деструктуризация; анизотропия, нелинейность, неравновесность, необратимость деформаций и наследственность деформирования; как повреждаемость при несилowych и средовых температурно-влажностных, природно-климатических, техногенных, коррозионных воздействиях и т.п. Причем, поименованные (и другие) свойства, проявляясь в различных материалах по-разному, взаимосвязаны. Эти свойства определяют силовое сопротивление, износ и повреждения материалов и конструкций.

Указанная совокупность факторов и обстоятельств создает по отношению к текущим оценкам силового сопротивления конструкций некоторую предысторию существования. Сооружения защитно реагируют на указанную предысторию в частности, это проявляется в расстройке резонансов, гашении динамических импульсов, в перераспределении усилий между элементами сооружений и даже с одного координатного направления на другое координатное направление, в эволюции граничных условий и изменении демпфирующих свойств системы.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Геометрическая неизменяемость сооружений считается обеспеченной.

Анализ показывает, что даже «обычные» дефекты и повреждения снижают конструктивную безопасность сооружений, а при неблагоприятных сочетаниях негативных обстоятельств приводят к отказам, лавинному деформированию и заканчиваются разрушением, в т.ч. по типу «прогрессирующего» разрушения, катастроф.

Многие задачи расчетной оценки ресурса железобетонных конструкций, связанные с эксплуатационной спецификой, решены. Однако построение комплексной диссипативной теории силового сопротивления железобетона, учитывающее коррозионные и режимные потери еще предстоит осуществить; в частности, актуально исследовать особенности силового сопротивления поврежденных коррозией железобетонных элементов знакопеременному нагружению.

Необходимая расчетная модель может быть построена с использованием следующих посылок:

- исследование осуществляется в стадии устойчивого силового сопротивления, в рамках определенного диапазона уровня внешних воздействий [4], т.е. для

$$\frac{d(\Delta L)}{dt} = \alpha(\Delta L)^m, \text{ где } \Delta L = \frac{L_{кр} - L}{L_{кр}}, \text{ при } m \geq 1, \quad (1)$$

$$\text{откуда } L = \left\{ 1 - \left[ \Delta L(t_0) \right]^{(-m)+1} + \alpha [(-m)+1] (t-t_0) \right\}^{\frac{1}{(-m)+1}} L_{кр}. \quad (2)$$

Здесь  $L$  - характеристика неравновесного процесса силового сопротивления материала (глубина повреждения  $\delta$ , мера ползучести  $C^0$ )<sup>2</sup>;  $\alpha, m, L_{кр}$  - параметры силового состояния, зависящие от уровня действующих напряжений  $\eta = \sigma / R_b$  и возраста бетона;  $t_0$  - время начала наблюдения,  $t$  - время окончания наблюдений<sup>3</sup>.

В частности, зависимость  $m$  от  $\eta$  иллюстрируется на рис. 1 и может быть описана полиномом третьей степени [5]

$$m(\eta) = \sum_{i=0}^{i=3} q_{mi} \eta^i, \quad (3)$$

$q_{mi}$  - находятся экспериментально по фиксированным точкам.

Основным отличительным признаком вводимой расчетной модели является то, что в ней учитывается прямая связь между параметрами процесса  $\alpha, m, L_{кр}$  и уровнем напряженного состояния  $\eta$ .

-реологическое уравнение механического состояния бетона принимается в традиционной форме [1]

$$\varepsilon(t, t_0) = \varepsilon_{мз}(t) + \varepsilon_n(t, t_0); \quad \varepsilon_{мз}(t) = \frac{\sigma(t) S_{мз}(t)}{E_{мз}^0(t)}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_n(t, t_0) = S_n C^0(t, t) - \int_{t_0}^t S_n(\tau) \frac{d}{d\tau} C^0(t, \tau) d\tau,$$

<sup>2</sup> Применительно к ползучести соотношение (2) подтверждено экспериментально.

<sup>3</sup> Согласно Ю.М. Митропольскому [6] целесообразно различать «медленное» время для неравновесных процессов и «быстрое» время становления нагрузок.

где  $\varepsilon(t, t_0)$  - полная относительная деформация в момент  $t$ ;  $\varepsilon_{mz}(t)$  - частная относительная мгновенная деформация в момент  $t$ ;  $\varepsilon(t, t_0)$  - частная относительная запаздывающая деформация (деформация ползучести), в т.ч. кратковременная (быстронатекающая) ползучесть + режимная ползучесть, накопленная за период времени  $t - t_0$ ;  $E_{mz}^0(t)$  - начальный модуль мгновенной деформации;  $C^0(t, \tau)$  - начальная мера ползучести;  $S_{mz}$  - функция напряжений для мгновенной деформации;  $S_n$  - функция напряжений для деформаций ползучести [1].

При этом возможна запись

$$S = \sigma S^0, \quad (5)$$

где  $S^0$  - функция нелинейности (например [1])

$$S^0 = 1 + V\eta^m, \quad (6)$$

для которых для неубывающих нагружений  $V_{mz}, m_{mz}; V_n$  и  $m_n$  приведены в [7], а для разгрузки

$$S^0 = 1. \quad (7)$$

Преобразования (4) приводят к записи:

$$\varepsilon(t, t_0) = \frac{\sigma(t)}{E_{ep}(t, t_0)},$$

$$\text{где} \quad \frac{1}{E_{ep}(t, t_0)} = \frac{S_{mz}^0}{E_{mz}^0(t)} + S_n^0 C^0(t, t) - \int_{t_0}^t \frac{\sigma(\tau)}{\sigma(t)} S_n^0(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C^0(t, \tau) d\tau, \quad (8)$$

здесь  $E_{ep}(t, t_0)$  - временный модуль деформаций [1].

В работе [2] показано, что замена  $S_{mz}^0$  и  $S_n^0$  единой функцией  $\overline{S^0}$ , которая, сохраняя точность не менее 97%, позволяет использовать квазилинейную запись реологического уравнения в виде:

$$\varepsilon(t, t_0) = \frac{\sigma(t)}{E_{ep}(t, t_0)} = \frac{\overline{S}[\sigma(t)]}{E_{ep.l}(t, t_0)}, \text{ т.е. } E_{ep}(t, t_0) = \frac{E_{ep.l}(t, t_0)}{\overline{S^0}(\sigma)}, \quad (9)$$

$$\text{где} \quad \frac{1}{E_{ep.l}(t, t_0)} = \frac{1}{E_m^0(t)} + C^0(t, t) - \int_{t_0}^t \frac{\sigma(\tau)}{\sigma(t)} \frac{\partial}{\partial \tau} C^0(t, \tau) d\tau, \quad (10)$$

$$\text{при} \quad \overline{S} = \sigma \overline{S^0} \quad \text{и} \quad \overline{S^0} = 1 + \overline{V}\eta^{\overline{m}} \quad (11)$$

$$\text{или} \quad \overline{S^0} = a\sigma^{\varepsilon-1} = aR^{(1-\varepsilon)}\eta^{(\varepsilon-1)}, \quad (12)$$

для которой параметры  $a$  и  $\varepsilon$  вычисляются с помощью  $\overline{V}$  и  $\overline{m}$  [2,3,7]

$$a = (1 + \overline{V})R^{(1-\varepsilon)}, \quad \varepsilon = \frac{\ln \frac{c(1+\overline{V}c)}{(1+\overline{V})}}{\ln c} \quad (13)$$

(значение  $a \ll c \ll 1$  может быть найдено из условия минимизации отклонения между (11) - (12)). Далее, при  $\sigma = \text{const}$  запись (10) получает вид:

$$\frac{1}{E_{ep.l}(t, t_0)} = \frac{1}{E_{mz}^0(t)} + C^0(t, t), \quad \text{или} \quad E_{ep.l}(t, t_0) = \frac{E_{mz}^0(t)}{1 + E_{mz}^0(t)C^0(t, t_0)}. \quad (14)$$

Заметим, что (14) приводит (9) к формуле СП

$$\varepsilon(t, t_0) = \frac{\sigma(t)\overline{S^0}(\eta)}{E_{mz}^0(t)} [1 + \varphi(t, t_0)], \quad \text{где} \quad \varphi(t, t_0) = E_{mz}^0(t)C^0(t, t_0), \quad (15)$$

причем, более того, СП допускает усреднение функции нелинейности, принимаемая  $1/\sqrt{s^0} = 0,85$ ,

- учитывается, что при одностороннем контакте сжатого бетонного тела с коррозионной средой любого происхождения по глубине расположены три зоны повреждения (рис. 2): А - зона полного коррозионного разрушения бетона (толщина  $z^*$ ); Б- зона частичного коррозионного повреждения (переходная зона, толщина  $\delta$ ); В - зона неповрежденного бетона (толщина  $p$ )<sup>4</sup>.

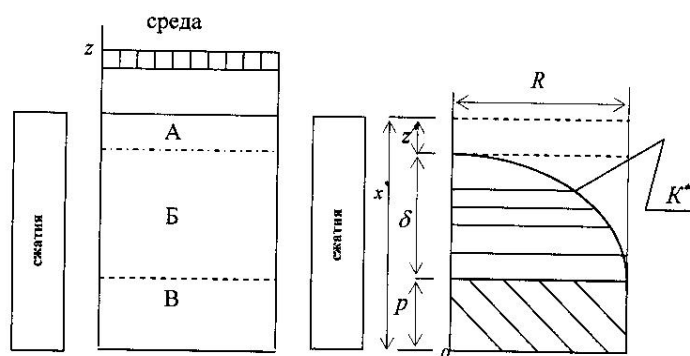


Рис. 2. Зоны повреждения бетонного тела

При этом  $z^*$  устанавливается непосредственным измерением (или по обоснованным эмпирическим формулам);  $\delta$  - вычисляется по (2);  $p$  - находится как разность между размером сжатой зоны  $x$  и суммарной толщиной повреждений

$$p = x - (z^* + \delta).$$

Поскольку интенсивность повреждений по мере удаления от границы зоны А постоянно уменьшается, на границе зон Б и В обнуляются, а переход из зоны Б в зону В осуществляется сопряжено, постольку функция  $K^*(z)$  принимает вид [5]:

$$K^*(z) = \sum_{i=0}^{i=2} a_i z^i, \quad (16)$$

где  $z$  - ордината, отсчитываемая от нейтральной оси, нижней границы зоны В.

$$a_0 = 1 - \left(\frac{p}{\delta}\right)^2; \quad a_1 = \frac{2p}{\delta^2}; \quad a_2 = -\frac{1}{\delta^2}. \quad (17)$$

Заметим, что функция повреждений  $K^*(z)$ , относящаяся к зоне Б, определяется чисто геометрически; поэтому она в равной мере относится ко всем механическим характеристикам бетона:

$$R^* = K^* R, \quad E^* = K^* E, \quad C^* = C^0 / K^*, \quad \varepsilon_{oo}^* = K^* \varepsilon_{oo} \text{ и т.п.} \quad (18)$$

Учитывается, что в качестве основного эксплуатационного случая, может считаться тот случай, когда рабочее нагружение осуществляется до начала коррозионных повреждений, а разрушение - после накопления повреждений. Это позволяет диаграмму  $\sigma - \varepsilon$  принять в форме рис. 3. Из этого следует, что деформированию нагружаемого неповрежденного коррозией бетонного образца соответствует кривая 02; погашению деформаций при разгрузении неповреж-

<sup>4</sup> Учитывая, что растянутый бетон имеет высокую проницаемость и поэтому фильтрует коррозионную среду ( $m \leq 0$ ) в дальнейшем вводится ограничение  $(z^* + \delta) \leq x$ .

денного образца- линия 23; а погашению деформаций при разгрузке поврежденного образца- линия 24. При этом допускается, что линии 01 и 23 взаимно параллельны; фигура 023- петля гистерезиса для неповрежденного коррозией образца, а фигура 024-петля гистерезиса для поврежденного коррозией образца, т.е. фигура 324-дополнительные гистерезисные потери силового деформирования, обусловленные коррозионными повреждениями [3].

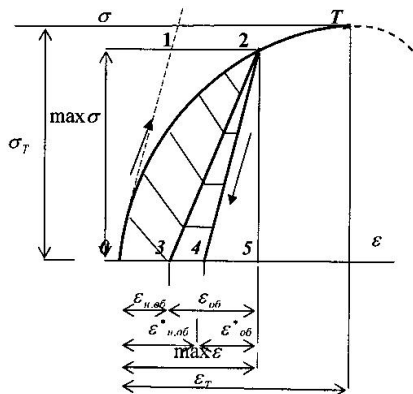


Рис. 3. Диаграмма деформирования

Отсюда следует, что с учетом необратимости силовой деформации, гистерезисных энергопотерь и накопления повреждений модуль отпорности (модуль жесткости при разрушении)  $E_{вр.л}^*$  может вычисляться по формуле:

$$\overleftarrow{E}_{вр.л}^*(t, t_0) = \frac{\overleftarrow{E}_{вр.л}(t, t_0)}{K^*} \quad (19)$$

-учитывается, что жесткость (и отпорность) при изгибе отсчитывается от центра тяжести приведенного сечения железобетонного элемента (заметим, в линейной постановке ось, проведенная через центр тяжести, и ось нулевых нормальных напряжений, разделяющая сжатую и растянутую зоны изгибаемого элемента, совпадают) [1].

Привлекая традиционные исходные положения (например, гипотезу плоских сечений) можно с помощью указанных посылок создать требуемую расчетную модель, проанализировать напряжено-деформированное состояние конструкции и оценить особенности диссипированного силового сопротивления железобетона.

Реализацию изложенного удобно проиллюстрировать на примере изгибаемого железобетонного элемента простейшего исполнения (прямоугольное поперечное сечение, одиночное рабочее армирование, отсутствие предварительного напряжения) рис. 4.

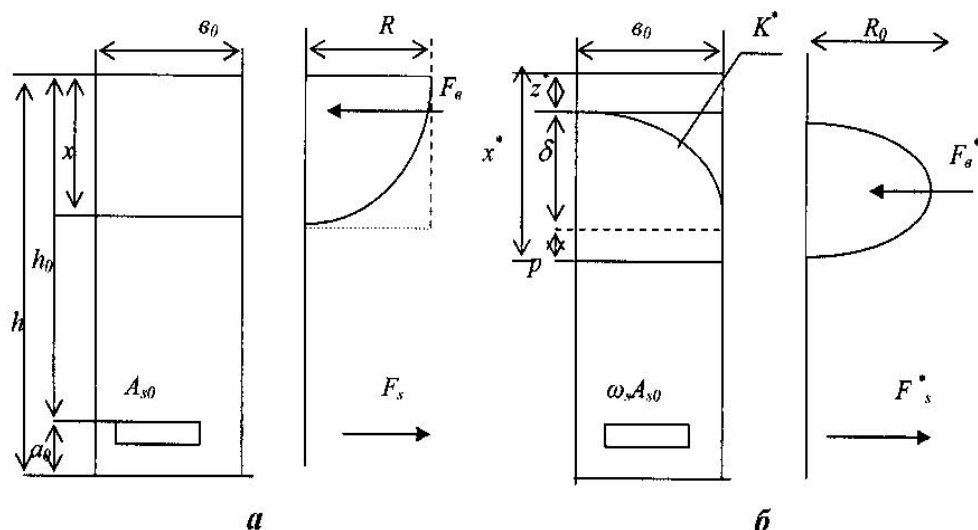


Рис. 4. Эпюры напряжений в поперечном сечении элемента:  
а - до коррозионных повреждений; б - после коррозионных повреждений

Так, используя (9), (12), (13), (16) и (18)

$$\varepsilon = \frac{S(\sigma)}{E_{ep,l}}; S(\sigma) = \alpha\sigma^{\frac{1}{6}}; \varepsilon = \frac{z}{\rho}; \frac{1}{\rho} = \frac{M}{D}$$

получаем запись распределения нормальных напряжений в зоне Б, изгибаемого железобетонного элемента [3]<sup>5</sup>, рис. 4, для неповрежденного коррозией элемента:

$$\sigma(z) = \left[ \frac{E_{ep,l} M_0 z}{(1 + \bar{V}) DK} \right]^{\frac{1}{6}} R, \quad (20)$$

для поврежденного коррозией элемента

$$\sigma^*(z) = \left[ \frac{E_{ep,l} M_0 z_i}{(1 + \bar{V}) RD^*} \right]^{\frac{1}{6}} K^*(z) R, \quad (21)$$

где  $z$  и  $z_i$  – ординаты, отсчитываемые от нейтральных осей сечений неповрежденного и поврежденного коррозией железобетонного изгибаемого элемента,  $\rho$  и  $\rho^*$  – соответствующие радиусы кривизны,  $D$  и  $D^*$  – соответствующие изгибные жесткости сечений,  $M_0$  – изгибающий момент в сечении от внешних нагрузок.

Заметим, что близкое к (20) предложение было сделано в [1], в котором вводится непосредственная связь между формой эпюры нормальных напряжений в сжатой зоне неповрежденного коррозией элемента и величиной изгибающего момента  $M_0$

$$\sigma = \sigma_{\phi} \left( \frac{z}{x} \right)^{\eta_b}, \quad \text{где } \eta_b = (1 - f) M / M_{кр} \quad (22)$$

$$\text{или учитывая малость } f, \quad \eta_b = 1 - M / M_{кр}, \quad (23)$$

здесь  $\sigma_{\phi}$  – значение фибрового напряжения.

Как обычно, высота сжатой зоны определяется из условий равновесия внутренних сил на горизонтальную ось

$$\Sigma F_i = 0, \quad F_g - F_s = 0, \quad F_s = \omega_s A_s \sigma_s, \quad F_b = F_u + F_g^*,$$

где без повреждений

$$F_n = \varepsilon_0 R \left[ \frac{E_{ep,l} M_0}{(1 + \bar{V}) DR} \right]^{\frac{1}{6}} \int_0^x z^{\frac{1}{6}} dz, \quad (24)$$

$$\text{и } x = \left\{ \frac{(1 + \frac{1}{6}) A_s \sigma_s}{\varepsilon_0 R} \left[ \frac{(1 + \bar{V}) R}{E_{ep,l} M_0} \right]^{\frac{1}{6}} \right\}^{\frac{6}{1+6}},$$

с повреждениями:

$$F_n^* = \varepsilon_0 R \left[ \frac{E_{ep,l} M_0}{(1 + \bar{V}) DR} \right]^{\frac{1}{6}} \int_0^{x^* - (z^* + \delta)} z_i^{\frac{1}{6}} dz_i,$$

<sup>5</sup> В [3] за счет использования т.н. усреднений приведены несколько иные записи для  $\sigma(z)$  и  $\sigma^*(z)$ .

$$F_b^* = \epsilon_0 R \left[ \frac{E_{ep,l} M_0}{(1 + \bar{V}) DR} \right]^{1/6} \sum_{i=0}^{i=2} a_i \int_{x^* - (z^* + \delta)}^{x^* - z^*} z_i^{(i+1/6)} dz_i \quad (25)$$

или

$$F_n^* = \epsilon_0 R \left[ \frac{E_{ep,l} M_0}{(1 + \bar{V}) DR} \right]^{1/6} \left. \frac{z_i}{(1 + 1/\epsilon)} \right|_0^{x^* - (z^* + \delta)}$$

$$F_\epsilon^* = \epsilon_0 R \left[ \frac{E_{ep,l} M_0}{(1 + \bar{V}) DR} \right]^{1/6} \sum_{i=0}^{i=2} a_i \left. \frac{z_i}{(i+1 + 1/\epsilon)} \right|_{x^* - (z^* + \delta)}^{x^* - z^*} \quad (26)$$

При этом  $x^*$  из (23), (26) может быть найдено численно.

Заметим, что некоторые упрощения можно получить, распространяя (22) на зоны В (27)

$$F_\epsilon^* = \epsilon_0 R \left[ \frac{E_{ep,l} M_0}{(1 + \bar{V}) DR} \right]^{1/6} \sum_{i=0}^{i=2} a_i \left. \frac{z_i}{(i+1 + 1/\epsilon)} \right|_0^{x_1^*} \quad (27)$$

Далее, принимая модуль деформации при нагружении для неповрежденного коррозией бетона  $E_{ep}(\sigma, t, t_0)$  и для поврежденного коррозией бетона  $E_{ep}^*(\sigma, t, t_0)$  в виде

$$E_{ep}(\sigma, t, t_0) = \frac{E_{ep,l}(t, t_0)}{\bar{S}^0(\sigma)},$$

$$E_{ep}^*(\sigma, t, t_0) = \frac{E_{ep,l}(t, t_0)}{\bar{S}^0(\sigma)} K^*, \quad (28)$$

и модуль деформации поврежденного коррозией бетона при разрушении (19), а также вычислив предварительно соответствующие высоты сжатой зоны сечения и функции распределения нормальных напряжений (21) и (22), находим соответствующие ординаты центра тяжести приведенных сечений  $Y_{u,m}$  для каждого случая относительно расчетной грани.

Общей формулой при этом будет:

$$Y_{u,m} = \frac{\Psi_s \omega_s A_{s0} E_{s0} a_s + \epsilon_0 \frac{E_{ep,l}(t, t_0)}{(1 + \varphi)} \int_0^\delta \frac{(h - x + z) dz}{\bar{S}^0(z)}}{\Psi_s \omega_s A_{s0} E_{s0} + \epsilon_0 \frac{E_{ep,l}(t, t_0)}{(1 + \varphi)} \int_0^\delta \frac{dz}{\bar{S}^0(z)}}, \quad (29)$$

где  $E_s$ -модуль деформации рабочей растянутой арматуры,  $a_s$ -толщина защитного слоя растянутой арматуры,  $q$ -абсцисса сечения вдоль пролета,

$$\varphi = E_{mz} C_0 - \text{ по СП.} \quad (30)$$

А функции нелинейности  $S_0(z)$  имеют записи:

1. для нагруженного неповрежденного коррозией элемента ( $\omega_s=1; K^*=1$ )

$$\bar{S}^0(q, z) = a \left\langle \left[ \frac{E_{ep,l}(t, t_0) M_0(q)}{(1 + \bar{V}) D(q) R} z \right]^{\frac{1}{\epsilon}} R \right\rangle^{(\epsilon-1)}. \quad (31)$$

2. для нагруженного поврежденного коррозией элемента ( $\omega_1 < 1; K^* < 1$ )

$$\bar{S}^0(q, z) \Big|_* = a \left\langle \left[ \frac{E_{ep,l}(t, t_0) M_0(q)}{(1 + \bar{V}) D^*(q) R} z \right]^{\frac{1}{\epsilon}} K^*(z) R \right\rangle^{(\epsilon-1)}. \quad (32)$$

3. при разгрузке  $\bar{S}^0 = 1$ , центр тяжести сечения расположен на нейтральной оси напряжений, т.е.

$$Y_{y.m.} = h - x, \quad (33)$$

а прочие вычисления осуществляются с помощью (31), (32).

Далее, жесткость  $\bar{D}$  при разгрузке и отпорность при нагружении  $\bar{D}$  вычисляются по формулам:

$$D = D_s + D_\epsilon, \quad (34)$$

$$\text{где } D_s = \frac{\omega_s A_{S0}}{\Psi_s} E_s (Y_{y.m.} - q_s)^2, \quad (35)$$

здесь  $\Psi_s$  - параметр учета влияния бетона растянутой зоны,  $\omega_s$  - коэффициент сохранения ресурса силового сопротивления растянутой рабочей арматуры при коррозионных повреждениях,  $A_{S0}$  - площадь растянутой рабочей арматуры,

$E_s$  - модуль деформации (упругости) рабочей арматуры).

1. Жесткость  $\bar{D}_\epsilon$  неповрежденного коррозией элемента ( $K^*=1$ )

$$\bar{D}_\epsilon(q, t, t_0) = \epsilon_0 E_{ep,l}(t, t_0) \int_0^\delta \frac{(h - x - Y_{y.m.} + z)^2}{S(q, z)} dz. \quad (36)$$

2. Жесткость  $\bar{D}_\epsilon^*$  поврежденного коррозией элемента ( $K^* < 1$ )

$$\bar{D}_\epsilon^*(q, t, t_0) = \epsilon_0 E_{ep,l}(t, t_0) \int_0^\delta \frac{(h - x^* - Y_{y.m.}^* + z)^2}{S(q, z) \Big|_*} dz. \quad (37)$$

3. Отпорность  $\bar{D}_\epsilon$  неповрежденного коррозией элемента ( $K^*=1$ )

$$\bar{D}_\epsilon(t, t_0) = \epsilon_0 E_{ep,l}(t, t_0) \int_0^\delta (h - x - Y_{y.m.} + z)^2 dz. \quad (38)$$

4. Отпорность  $\bar{D}_\epsilon^*$  поврежденного коррозией элемента ( $K^* < 1$ )

$$\bar{D}_\epsilon^*(t, t_0) = \epsilon_0 E_{ep,l}(t, t_0) \int_0^\delta \frac{(h - x^* - Y_{y.m.}^* + z)^2}{K^*(z)} dz. \quad (39)$$



Анализ полученных результатов приводит к следующим выводам:

1. При нагружении нелинейная связь  $\sigma$ - $\varepsilon$ , и коррозионные повреждения, в общем, снижают изгибную жесткость, однако, зависимость параметра  $m$  от уровня расчетных напряжений  $\eta$  вначале тормозит это уменьшение, а затем (после  $\sigma \geq 0,5R_{dl}$ ) интенсифицирует его.

2. Гистерезисные потери энергии силового деформирования, коррозионные повреждения при разгрузке уменьшают обратимость полных деформаций, снижают деформационно-восстановительный потенциал железобетона и приводят к расчетно-количественному превышению «отпорности» над жесткостью.

3. Изменения напряженно-деформированного состояния сечений в процессе знакопеременности нагружения-разгрузки перемещают центры тяжести соответствующих приведенных сечений и нулевые (нейтральные) оси, что влияет не только на жесткость (и отпорность), но и на оценки трещиностойкости и устойчивости.

4. Сказанное требует коррекции существующих методов расчета конструкций (при расчете статически неопределимых систем необходимо в зависимости от ожидаемого знака воздействий применять соответствующие характеристики сопротивления деформированию), а при динамическом расчете конструкций, вообще, приводит к режимному изменению расчетной жесткости.

#### Л и т е р а т у р а

1. *Бондаренко В.М.* «Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона», изд. Харьковского госуниверситета, Харьков, 1968.

2. *Бондаренко С.В., Санжаровский Р.С.* «Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий», Стройиздат, Москва, 1990.

3. *Бондаренко В.М.* «Предложения по дополнению исходных посылок теории сооружений», Труды РААСН, 2010.

4. *Федосьев В.И.* «Сопротивление материалов», изд. Наука, Москва, 1970.

5. *Бондаренко В.М.* «Феноменология кинетики поврежденных железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной среде», журнал «Бетон и железобетон», №2, 2008.

6. *Митропольский Ю.А.* «Нестационарные процессы в нелинейных колебательных системах», изд. АН УССР, Киев, 1955.

7. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций, Стройиздат, Москва, 1988.

#### **FEATURE OF POWER RESISTENCE OF THE REINFORCED CONCRETE ELEMENTS DAMAGED BY CORROSION SIGNVARIABLE LOADING**

V. M. Bondarenko

Sentences under the account dissipative influence of hysteresis power losses and corrosion damages of the materials ferro-concrete on power resistance of structures to deformation are proved and made at sign variable loading.

KEY WORDS: dissipative influence, corrosion damages, deformation.