

**ПРИКЛАДНОЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ
ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕННОГО КОРРОЗИЕЙ
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ**

В. М. БОНДАРЕНКО, *д-р тех. наук, профессор*
НИИСФ РААСН,
127238, Москва, Локомотивный пр-д, д.21

В статье исследуются задачи расчета потерь энергии при силовом знакопеременном нагружении поврежденного коррозией железобетона заменой нелинейно переменных характеристик силового сопротивления и коррозионных повреждений с помощью интегральных модулей деформаций и интегральным коэффициентом сохранения, зависящих от интенсивности нагружений и агрессивно коррозионных воздействий.

Они вычисляются из условия минимума отклонений по высоте сечений между исходными интегральными значениями, указанных характеристик конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: диссипация энергии деформирования, коррозионные повреждения.

Эксплуатируемые в агрессивной среде материалы - компоненты железобетона - повреждаются. Вследствие этого первоначальный потенциал силового сопротивления железобетонных конструкций – прочность, трещиностойкость, устойчивость – уменьшается, а потери энергии при деформировании увеличиваются [3].

Сформулированная в заглавии статьи задача решается в два этапа:

А. Оценка потерь энергии неповрежденного коррозией железобетона;
Б. Оценка влияния коррозионных повреждений на энергетическое сопротивление железобетона.

А. При силовом деформировании образца материала совершается работа, равная произведению действующей силы и вызванных ею перемещений, применительно к бетонному поврежденному коррозией образцу единичных размеров при осевом нагружении эта работа равна

$$\overline{W}_0 = \int_0^\varepsilon \sigma d\varepsilon, \quad (1)$$

где ε – полные относительные деформации, σ – нормальные напряжения. Связь между напряжениями и деформациями бетона – реологическое уравнение силового сопротивления записывается в традиционной форме – при нагружении:

$$\varepsilon(t) = \frac{S[\sigma(t)]}{E_{\text{мгн}}(t)} + S_{\text{пол}}[\sigma(t)]C(t, t) - \int_{t_0}^t S_{\text{пол}}[\sigma(\tau)] \frac{dc(t, t_0)}{d\tau} d\tau, \quad (2)$$

где $S_{\text{мгн}} = \sigma \left[1 + V_{\text{мгн}} \left(\frac{\sigma}{R} \right)^{m_{\text{мгн}}} \right]$; $S_{\text{пол}} = \sigma \left[1 + V_{\text{пол}} \left(\frac{\sigma}{R} \right)^{m_{\text{пол}}} \right]$, (3)

а в частном случае при $\sigma = \text{const}$:

$$\varepsilon(t) = \frac{S_{\text{мгн}}(\sigma)}{E_{\text{мгн}}(t)} + S_{\text{пол}}(\sigma)C(t, t_0). \quad (4)$$

Здесь t_0, τ, t - время начала наблюдения, текущее время, время окончания наблюдения; R – расчетная призменная прочность бетона, $E_{\text{мгн}}$ – модуль мгновенно упругой деформации [6], $C(\tau, t_0)$ – мера простой ползучести [6], $V_{\text{мгн}}, V_{\text{пол}}, m_{\text{мгн}}, m_{\text{пол}}$ - параметры нелинейности деформирования [4]:

для сжатия: $V_{\text{мгн}} = \frac{37,5}{R}$; $m_{\text{мгн}} = 5,7 - 0,05R$ (или назначаются по [6]),
 $V_{\text{пол}} = \frac{45,0}{R}$; $m_{\text{пол}} = 5,0 - 0,07R$, (5)

для растяжения: $V_{t, \text{мгн}} = 0,3 + 0,37K$; $m_{t, \text{мгн}} = 0,8 + 0,32K$,
 $V_{t, \text{пол}} = 1,5$; $m_{t, \text{пол}} = 1,0$ (6)

или записывается в квазилинейной форме [3]

$$\bar{\varepsilon} = a\sigma^b; \sigma = \frac{1}{(a)^{1/b}} \varepsilon^{1/b}, \quad (7)$$

где a и b – параметры деформирования.

Параметры a и b могут быть установлены экспериментально или вычислены по условиям равенства $\varepsilon = \bar{\varepsilon}$ в двух фиксированных уровнях нагружения $\sigma = R$ и $\sigma = \gamma R$ (в частности, нами принимается $0,6 \leq \gamma \leq 0,8$)

тогда при $\sigma = R$ имеем $a = \frac{\varepsilon(R)}{Rb}$, (8)

при $\sigma = \gamma R$ имеем $b = \frac{1}{\ln^{1/\gamma}} \ln \frac{\varepsilon(R)}{\varepsilon(\gamma R)}$ (9)

при разгрузении.

Согласно признаку Энгессера-Ясинского связь между напряжениями и деформациями принимается линейной:

для бетона: $\varepsilon = \frac{\sigma}{E_{врл}}$, где $E_{врл} = \frac{E_{мгн}}{1 + E_{мгн} \cdot C(t, t_0)}$; (10)

для стальной арматуры при нагружении и при разгрузении описывается законом Гука¹:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}, \quad (11)$$

$E_{врл}$ – временный линейный модуль деформирования по С.Е. Фрайфельду, E_s – модуль упругой арматуры.

Отсюда следует, что при осевом нагружении единичного бетонного образца работа равна по (1):

$$\vec{W}_0 = \int_0^\varepsilon \frac{1}{a^{1/b}} \varepsilon^{1/b} d\varepsilon = \frac{\varepsilon^{(1+1/b)}}{a^{1/b}(1+1/b)}, \quad (12)$$

то же при разгрузении

$$\overleftarrow{W}_0 = \int_0^\varepsilon E_{врл} \varepsilon d\varepsilon = \frac{E_{врл} \varepsilon^2}{2}. \quad (13)$$

Знак \rightarrow означает нагружение, знак \leftarrow разгрузение). А разность величин работы, затраченной при нагрузке на деформирование образца, и работы, произведенной при разгрузке (для единичного образца равная площади петли гистерезиса на диаграмме $\sigma - \varepsilon$):

$$\Delta W_0 = \vec{W}_0 - \overleftarrow{W}_0. \quad (14)$$

В целом при однократном осевом нагружении-разгрузении бетонной конструкции объемом V потеря энергии деформирования равна:

$$\Delta W = V \Delta W_0. \quad (15)$$

При неоднородном напряженном состоянии сечений конструкций (например, при изгибе железобетонной балки) аналогичные вычисления осуществляются в следующей последовательности:

1. Построение функции нормальных напряжений в сечении балки;
2. разделение пролета балки на несколько i -тых участков, для каждого из которых устанавливаются расчетно неизменными значения изгибающих моментов $M_i = const$;
3. Независимое вычисление потерь энергии для сжатой и для растянутой зон сечения для каждого i -того участка с последующим их суммированием, а затем суммирование потерь энергии для балки в целом.

Используя уравнение кривизны и гипотезу плоских сечений:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{D} = \frac{\varepsilon}{Z}, \quad \varepsilon = \frac{M}{D} Z, \quad (16)$$

а также уравнения силового сопротивления (7) получаем для каждого участка функцию нормальных напряжений по высоте сжатой зоны сечения балки [3]:

¹ Принятие линейноупругой связи $\sigma_s = \varepsilon_s$ обуславливает возможность отказа от учета потерь энергии при деформировании арматуры

$$\sigma_i = \left(\frac{M_i}{M_{\text{инп}}} \right)^{1/b} R \left(\frac{Z}{X_i} \right)^{\eta_i}, \text{ где } \mu = 1 - \frac{M_i}{M_{\text{инп}}}, \quad (17)$$

где X_i - высота сжатой зоны сечения балки; Z - ордината, отсчитываемая от нулевой оси напряжений; $M_{\text{инп}}$ - предельный изгибающий момент i -того участка.

К этому заметим, что при наличии арматуры в сжатой зоне изгибаемой балки A_s^i расчетная величина момента M_i в формуле для нормальных напряжений (17) в целях уточнения может быть уменьшена на величину:

$$\Delta M_i = A_s^i \sigma_s^i (h_0 - a_s^i), \text{ где } a_s = \frac{M}{D} E_s (X - a_s^i). \quad (18)$$

Общие потери энергии при деформировании железобетонной балки при однократном статическом нагружении-разгрузении равны:

$$\Delta W_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i, \quad (19)$$

$$\Delta W_i = (\bar{W}_i - \bar{W}_i) + (\bar{W}_{ti} + \bar{W}_{ti}), \quad (20)$$

где ΔW_i - потери энергии на i -том участке балки; \bar{W}_i - расход энергии при нагружении сжатой зоны сечения i -того участка; \bar{W}_i - энергия восстановления деформаций сжатой зоны l_i после разгрузки (под разгрузением понимается приложение к балке такой же нагрузки, но с обратным знаком):

$$\bar{W}_{ti} - \text{то же растянутой части сечений}; \quad \bar{W}_{ti} - \text{то же растянутой части сечений}$$

$$\bar{W}_i = b_0 l_i \int_0^{X_i} \sigma \varepsilon dZ = b_0 l_i \int_0^{X_i} \left(\frac{M_i}{M_{\text{инп}}} \right)^{1/b} R \left(\frac{Z}{X_i} \right) \frac{M_i}{D_i} Z dZ = \frac{b_0 l_i M_i R}{(2+\eta_i) D_i} \left(\frac{M_i}{M_{\text{инп}}} \right)^{1/b} X_i^2, \quad (21)$$

и аналогично

$$\bar{W}_{ti} = \frac{b_0 l_i M_i R t}{(2+\eta_{ti}) D_i} \left(\frac{M_i}{M_{\text{инп}}} \right)^{1/b t} (h - X_i)^2, \quad (22)$$

$$\bar{W}_i = \frac{b_0 l_i M_i R}{3 D_i} \left(\frac{M_i}{M_{\text{инп}}} \right)^{1/b} X_i^2, \quad (23)$$

$$\bar{W}_{ti} = \frac{b_0 l_i M_i R t}{3 D_i} \left(\frac{M_i}{M_{\text{инп}}} \right)^{1/b t} (h - X_i)^2, \quad (24)$$

где b_0 - ширина и h - высота прямоугольного сечения балки l_i - длина i -того участка, X_i - высота сжатой зоны, t - индекс обозначает растянутую зону.

Полученный результат позволяет определить общий коэффициент поглощения энергии:

$$\psi_{\text{общ}} = \frac{\Delta W_{\text{общ}}}{\bar{W}_{\text{общ}}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{W}_i + \bar{W}_{ti})}{\sum_{i=1}^n (\bar{W}_i + \bar{W}_{ti})}. \quad (25)$$

Анализ полученных результатов (21) - (25) показывает на возможность снижения поглощения энергии при знакопеременном нагружении - разгрузении применением

-уменьшения изгибающих моментов с помощью перераспределения расположения нагрузки в пролете с помощью изменения граничных условий,

-увеличения силового сопротивления конструкций: предельных изгибающих моментов $M_{\text{пр}}$ и жесткости сечений D .

Б. Воздействие агрессивной среды размещения вызывает коррозионные повреждения бетона, арматуры.

Исследования А.В. Саталкина, П.А. Ребиндера, А.П. Макаренко, Ю.М. Баженова, Е.М. Чернышева, посвященные изучению связи между уровнем и режимом нагружения бетона, его структурой и характеристиками силового сопротивления; В.И. Бабушкина, Б.В. Гусева, С.В. Федосова, И.Г. Овчинникова, Р.Б. Гарибова, направленные на вскрытие механизма коррозионного повреждения бетона; В.П. Селяева, изучающая связь между уровнем нагружения и коррозионными повреждениями; Е.И. Гузеева и В.И. Римшина, отданные проблемы

распределения коррозионных повреждений по сечению бетонных образцов; В.Р. Степановой и Н.К. Розентля по технологическим вопросам антикоррозионной защиты и др. позволили автору предложить аналитические обобщенные записи кинетики процесса коррозионных повреждений бетона во времени [2]:

$$\frac{d\Delta\delta}{dt} = -\alpha\Delta\delta^m, \text{ где } \Delta\delta = \frac{\delta_\phi - \delta}{\delta_\phi}, \quad (26)$$

где t – время, δ – глубина коррозионных повреждений, δ_ϕ – фиксируемая предельная величина глубины коррозионных повреждений, α – параметр скорости продвижения коррозионных повреждений, m – параметр уровня действующих напряжений

Заметим, что функции связи уровня нагружения и параметров δ_ϕ , α и m устанавливаются экспериментально для разных сочетаний номинаций агрессивной среды и бетона.

Для конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений уровень действующих напряжений относительно невысок и соответствует параметру $m \geq 1$; когда в бетоне отсутствуют сквозные трещины, а поры колюмируются продуктами коррозии, коррозионный процесс затухает во времени, а глубина продвижения коррозионного фронта фиксируется (с увеличением $m \geq 1$ затухание описанного процесса ускоряется) [1, 3].

В связи с этим в прикладных расчетах самым неблагоприятным считается вариант $m = 1$, для которого решение (26) имеет вид:

$$\delta(t, t_0) = [1 - \Delta\delta(t_0, t_0)e^{-\alpha(t-t_0)}] \delta_{cp}(\eta, t_0), \quad (27)$$

где $\eta = \frac{\sigma}{R}$.

Однако, информация о глубине коррозионных повреждений не исчерпывает необходимых исходных данных, необходимых для оценки силового сопротивления повреждённых коррозией железобетонных конструкций; требуются сведения о распределении коррозионных повреждений по сечению конструкций.

Задача решается с помощью следующих посылок (рис. 1):

- внешний слой конструкции, непосредственно контактирующий с агрессивной средой, может быть поврежден коррозией как частично, так полностью. (во втором случае поверхность контакта среды и повреждённого бетона перемещается в глубину бетонного тела на глубину $Z > 0$);
- по мере удаления фронта коррозионных повреждений разрушение бетона уменьшается и на так называемой фиксируемой глубине прекращается, а характеристики силового сопротивления сохраняются;
- указанные признаки снижения значений характеристик силового сопротивления описываются единой функцией сохранения K^* ; это дает основу для принятия признака эквивалентности

$$K^* = \frac{R^*}{R} = \frac{E^*}{E} = \frac{C}{C^*} = \frac{K_{обп}^*}{K_{обп}} \dots \quad (28)$$

Характер кривой функции сохранения (рис. 1) позволяет искать ее в виде:

$$K^*(Z) = \sum_{i=0}^2 a_i Z^i \quad (29)$$

Здесь $b_0 h$ – габариты сечения, X – высота сжатой зоны, Z^* – толщина полного разрушения, δ – толщина слоя частичного разрушения, p – толщина неповрежденного слоя. Значения параметров a : устанавливаются из условий на глубине фронта повреждений $Z = P$:

$$K^* = 1; \frac{dK^*}{dZ} = 0 \quad (30)$$

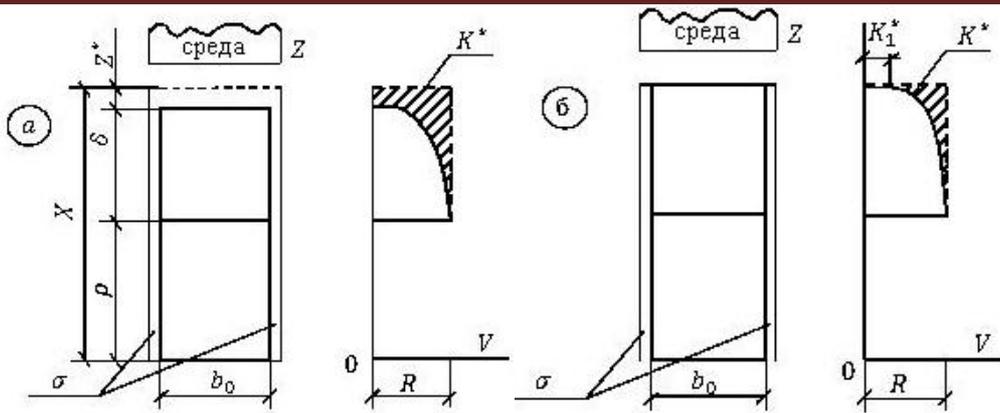


Рис. 1. Типы повреждений внешних волокон железобетонного элемента:
 I - полное разрушение, II - частичное разрушение

на поверхности контакта бетона с агрессивной средой:

для рис. 1, а будет: $K_1^* = 1$ и $Z^* > 0$, (31)

для рис. 1, б будет:

$$K_1^*(X) = K_1^* \text{ и } Z^* = 0, \quad (32)$$

откуда для варианта а:

$$a_0 = 1 - \left(\frac{\rho}{\delta}\right)^2; a_1 \frac{2\rho}{\delta^2}; a_2 = -\frac{1}{\delta^2}, \quad (33)$$

для варианта б:

$$a_0 = 1 - (1 - K_1^*) \left(\frac{\rho}{\delta}\right)^2; a_1 \frac{2(1-K_1^*)\rho}{\delta^2}; a_2 = \frac{(1-K_1^*)}{\delta^2}. \quad (34)$$

Коррозионные повреждения арматуры учитываются введением к значению площади сечения коэффициента сохранения

$$\omega = A_s^k / A_s. \quad (35)$$

В интересах упрощения прикладных алгоритмов вычисления энергетических характеристик (19)-(25) силового сопротивления железобетонных элементов с учетом влияния коррозионных повреждений бетона и арматурной стали непосредственное применение зависимостей (17) и для коррозионных повреждений (29) при определении прочности высоты сжатой зоны, предельных изгибающих моментов, жесткости, приводящее к неоправданно громоздким вычислениям, заменяется интегральными оценками коэффициента повреждения бетона и характеристик жесткости интегральные оценки – интегральный модуль деформации бетона ($E_{инт}$) и интегральный коэффициент сохранения ($K_{инт}^*$) – вычисляются с помощью минимизации квадратичного m-момента отклонения по высоте сечения и таким образом позволяют дальнейшие расчеты выполнять по общим регламентным методикам [3].

Таким образом, приняв $\varepsilon(16)$ и $K^*(29)$, записываем отклонение значений деформации бетона по (16) и по (36):

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_{инт}}; \sigma = \left(\frac{M}{M_{пр}}\right)^{1/b} R \left(\frac{Z}{X}\right)^\eta \quad (36)$$

и условие минимизации отклонения

$$\frac{d}{d\frac{1}{E_{инт}}} \int_{\rho}^{\rho+\delta} (\Delta\varepsilon Z^m)^2 dz = 0. \quad (37)$$

При $\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_{инт}, \quad (38)$

откуда
$$E_{инт} = \frac{\int_{\rho}^{\rho+\delta} \sigma^2 Z^{2m} dz}{\int_{\rho}^{\rho+\delta} \varepsilon \sigma Z^{2m} dz}, \quad (39)$$

или после подстановки (17)

$$E_{\text{инт}} = \frac{(1+\eta+2m) \left[\frac{M(X)}{M_{\text{пр}}(X)} \right]^{1/b-1} RD}{(1+2\eta+2m)M_{\text{пр}}(X)X^\eta} Z^{\eta-1} \Bigg|_{\rho}^{\rho+\delta} \quad (40)$$

Аналогично K^α (29):

$$\Delta K^*(Z) = K^*(Z) - K_{\text{инт}}^* \quad (41)$$

$$\frac{d}{dK_{\text{инт}}^*} \int_{\rho}^{\rho+\delta} [\Delta K^*(Z)Z^m]^2 dZ = 0, \quad (42)$$

откуда
$$K_{\text{инт}}^*(X) = \frac{\int_{\rho}^{\rho+\delta} K^*(Z)Z^{2m} dZ}{\int_{\rho}^{\rho+\delta} Z^{2m} dZ}, \quad \text{или} \quad K_{\text{инт}}^*(X) = \sum_{i=0}^{\rho+\delta} \frac{d_i Z^{i+1+2m}}{i+1+2m} \Bigg|_{\rho}^{\rho+\delta}.$$

При этом, в пределах каждого i -го участка принимаются неизменными величины действующего изгибающего момента $M_{\text{пр}}(X)$ и, следовательно, считаются неизменными по Z расчетный модуль деформаций и расчетная прочность бетона (28):

$$E_{\text{инт}}^* = K_{\text{инт}}^* \cdot E_{\text{инт}}; \quad R_{\text{инт}}^* = K_{\text{инт}}^* R; \quad \frac{\sigma}{\sigma Z} R_{\text{инт}}^* = 0,$$

а также зависящие от них η, ρ, δ, X, D .

Таким образом, применение интегральных характеристик $E_{\text{инт}}^*$ и $R_{\text{инт}}^*$ позволяет при вычислении жесткости D_i^* ; $M_{\text{пр}}^*$ применять регламентные методики СНиП. Интегральный для каждого i -го участка коэффициент сохранения исходных характеристик силового сопротивления $K_{\text{инт}}^*(X) < 1$. Таким образом, расчетная жесткость D , расчетный предельный изгибающий момент $M_{\text{пр}}$ меньше исходных значений и согласно (21)-(24) коррозионные повреждения увеличивает энергопотери при силовом деформировании конструкций,

$$\psi_i^* = 1 - \frac{\bar{W}_i + \bar{W}_{ti}}{\bar{W}_i + \bar{W}_{ti}} = 1 - \frac{\frac{R}{3} \left(\frac{M_i}{M_{\text{пр}}} \right)^{1/b} X^{2 + \frac{R_t}{3} \left(\frac{M_i}{M_{\text{пр}}} \right)^{1/b_t} (h-X)^2}}{\frac{R}{(2+\eta_i)} \left(\frac{M_i}{M_{\text{пр}}} \right)^{1/b} X^{2 + \frac{R_t}{(2+\eta_i)} \left(\frac{M_i}{M_{\text{пр}}} \right)^{1/b_t} (h-X)^2}}, \quad (43)$$

где W_i по (21)-(24) при сокращении числителя и знаменателя на $l_0 l_i D_i$.

В иллюстративном случае при $(2 + \eta_i) \cong (2 - \eta_{i\alpha})$ запись (43) приводится к

$$\psi_i = \frac{M_i}{3M_{\text{пр}}} \quad \text{и} \quad \psi_i^* = \frac{M_i}{3M_{\text{пр}}^*},$$

т.е. при снижении за счет учета коррозионных повреждений предельного изгибающего момента коэффициент поглощения энергии растет; например при

$$M_{\text{пр}}^* = \frac{M_{\text{пр}}}{L}, \quad \text{где } L > 1, \quad \text{величина } \psi_i^* = L\psi_i.$$

Таким образом, показано, что способ интегральных оценок характеристик силового сопротивления $E_{\text{инт}}^\alpha$ и $R_{\text{инт}}^\alpha$ позволяет свести оценку потерь энергии при деформировании к простому алгебраическому расчету.

Л и т е р а т у р а

1. Бондаренко В.М. О назначении оптимальных поперечных сечений стержневых конструкций при колебаниях// Вестник академии строительства и архитектуры. Киев, 1959. - №4. - С. 33-40.
2. Бондаренко В.М. Феноменология кинетики повреждений бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде// Бетон и железобетон. – 2008. - №2. – С. 25-28.
3. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Диссипативная теория силового сопротивления железобетона. – М.: Изд-во «Студент», 2015. - 111 с.
4. Бондаренко В.М. Посылки энергетической оптимизации железобетонных конструкций, воспринимающих знакопеременные нагрузки//Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2015. – №4. – С. 24-31.

5. *Понеско А.И.* Работоспособность железобетонных конструкций, подверженных коррозии. – СПб гос. архит. строит. ун-т, 1996. – 128 с.

6. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. – НИИЖБ, Стройиздат, Москва. – 1988. – 121 с.

References

1. *Bondarenko, V.M.* (1959). O naznachenii optimal'nyh poperechnykh sechenij sterzhnevyykh konstrukcij pri kolebanijah, *Vestnik Akademii Stoitel'stva i Arhitektury*, Kiev, №4, pp. 33-40.

2. *Bondarenko, V.M.* (2008). Fenomenologija kinetiki povrezhdenij betona zhelezobetonnnykh konstrukcij, jekspluatirujushhihsja v agressivnoj srede, *Beton i Zhelezobeton*, №2, pp. 25-28.

3. *Bondarenko, V.M., Rimshin, V.I.* (2015). *Dissipativnaja Teorija Silovogo Soprotivlenija Zhelezobetona*, Moscow: Izd-vo «Student», 111 p.

4. *Bondarenko, V.M.* (2015). Posylki jenergeticheskoj optimizacii zhelezobetonnnykh konstrukcij, vosprinimajushhih znakoperemennye nagruzki, *Stroitel'naja Mehanika Inzhenernyh Konstrukcij i Sooruzhenij*, №4, pp. 24-31.

5. *Popesko, A.I.* (1996). *Rabotosposobnost' Zhelezobetonnnykh Konstrukcij, Podverzhennyh Korrozii*, SPb gos.arhit.stroit. un-t, 128 p.

6. *Rekomendacii po Uchetu Polzuchesti i Usvdki Betona pri Raschete Betonnyh i Zhelezobetonnnyh Konstrukcij*, NIIZhB, Strojizdat, Moskva, 1988, 121 p.

APPLIED WAY OF THE ASSESSMENT OF LOSSES OF ENERGY OF DEFORMATION OF THE REINFORCED CONCRETE DAMAGED BY CORROSION UNDER SIGN-VARIABLE LOADING

Bondarenko V.M.
NIISF RAASN, Moscow

This article investigates the problem of calculating the energy losses in the alternating power loading of corroded reinforced concrete. This happens when one replaces the variables of the nonlinear characteristics of the power resistance and corrosion damage by an integral module of deformations and integral retention. They depend on intensity of loadings and corrosive influences. They are calculated from the condition of minimum variance for the height of the cross sections between the original integral values of structures characteristics.

KEY WORDS: dissipation of energy of deformation, corrosion damages.

