УДК 620.172.251

ДЛИТЕЛЬНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ СИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ И ВЫНУЖДЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Кобринец В.М. *(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)*

Неоднородные элементы – это внутренне статически неопределимые системы. Следствием этого является специфика их работы при длительном деформировании. Полученные результаты для железобетонных элементов при действии сжимающей силы и вынужденной деформации в физически линейной постановке.

Железобетонный элемент подвергается длительному, жесткому воздействию окружающей среды. Кроме конструктивной, появляется наведенная неоднородность. Армирование и зона неоднородности симметричны. Скорость деформации ползучести в ядре и наружном слое одинаковые, а характеристики ползучести разные.

При загружении такого элемента сжимающей силой (Рис.1) деформации при $t > \tau_1$ возрастают. По сравнению с бетонным элементом арматура оказывает сдерживающее влияние.

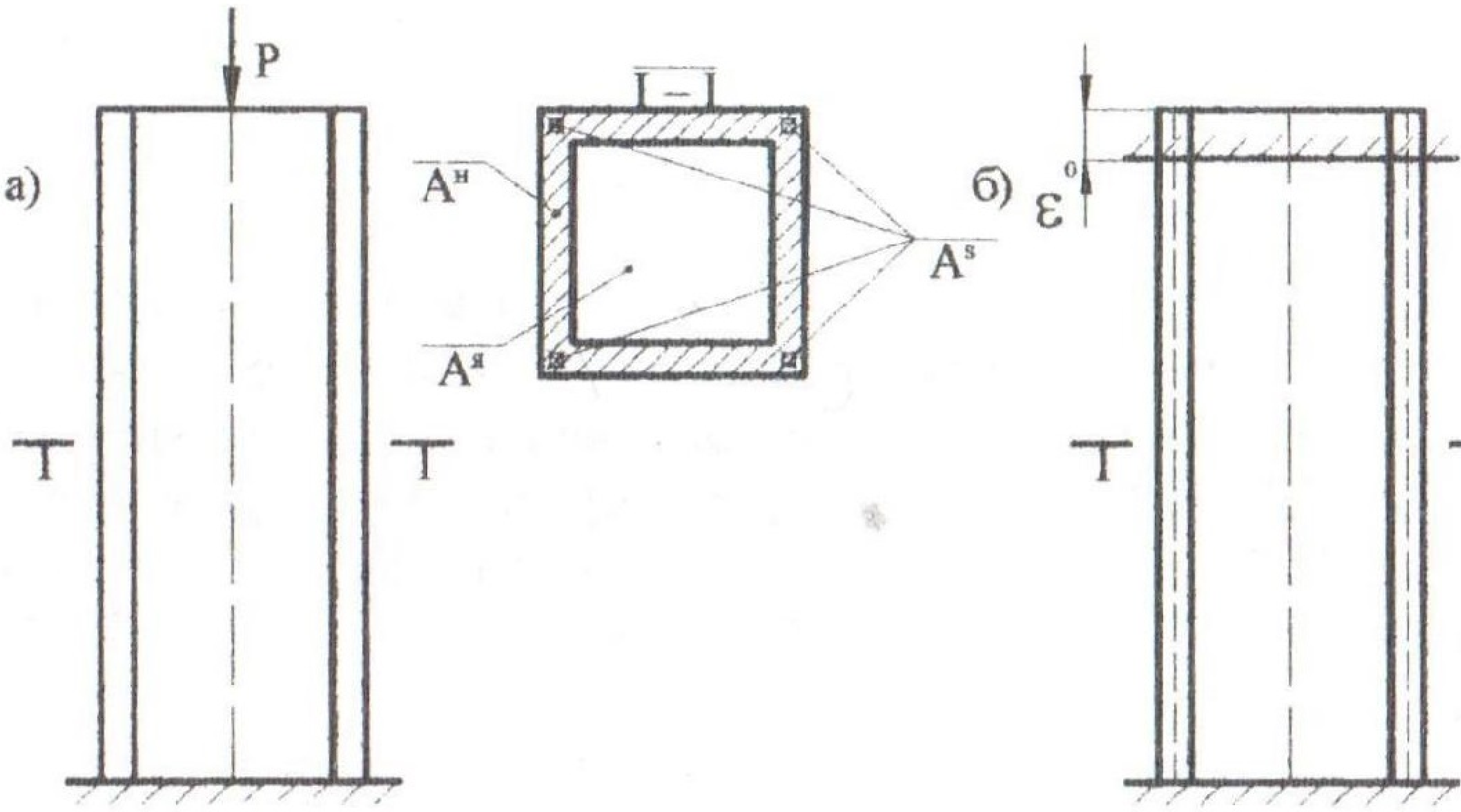

Рис. 1 Схема воздействия на железобетонный элемент:
а) Сжимающей силы
б) Вынужденной деформации.

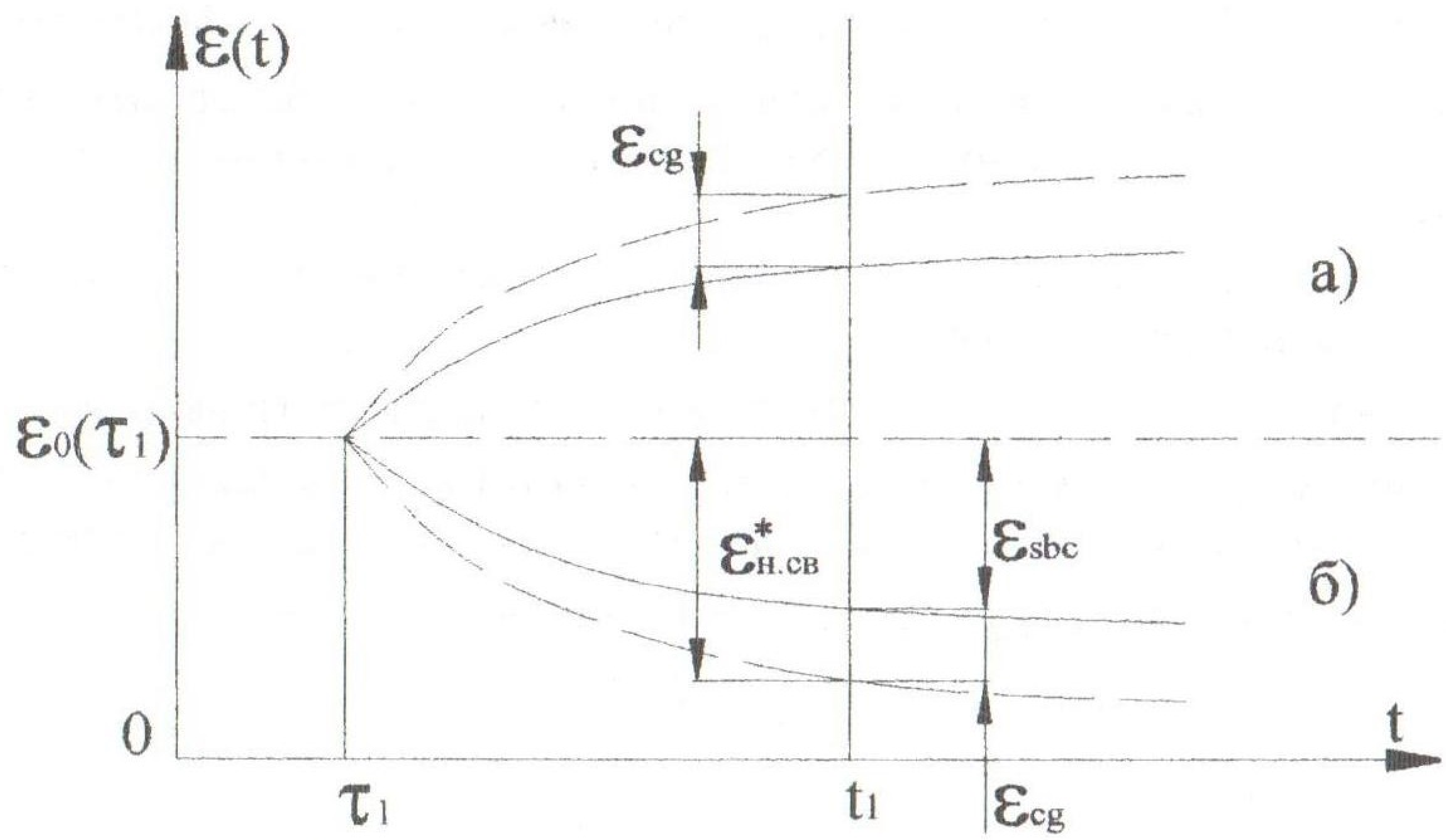

Рис. 2 Изменение деформаций во времени:
а) При силовом воздействии;
б) При вынужденной деформации

——————— железобетонного элемента

— — — бетонного элемента

В момент времени $t = \tau_1$ арматура, наружный слой и ядро бетонного элемента работают в упругой стадии. Напряжения определяются с учетом условия совместности деформаций.

$$\sigma_я(\tau_1) = \frac{\sigma_0(\tau_1)}{1 + \mu_s(\alpha_{sя} - 1) + \mu_н(\alpha_{ня} - 1)}; \tag{1}$$

$$\sigma_н(\tau_1) = \frac{\sigma_0(\tau_1)}{\alpha_{ян} + \mu_s(\alpha_{sн} - \alpha_{ян}) + \mu_н(1 - \alpha_{ян})}; \tag{2}$$

$$\sigma_s(\tau_1) = \frac{\sigma_0(\tau_1)}{\alpha_{яs} + \mu_s(1 - \alpha_{яs}) + \mu_н(\alpha_{нs} - \alpha_{яs})}; \tag{3}$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$\sigma_0(\tau_1) = P(\tau_1)/A_0$, $\mu_s = A_s/A_0$, $\mu_н = A_н/A_0$,

$\alpha_{sя} = E_s/E_я$, $\alpha_{ня} = E_н/E_я$ и т.п.

Если действие силы P предшествует проникновению фронта влияния внешней среды, то наружного слоя еще не существует

$A_н(\tau_1)=0$. При $t > \tau_1$ по мере проникновения фронта агрессивного воздействия в тело бетонного элемента прочностные и деформативные характеристики в наружном слое изменяются, а напряжения будут возрастать.

В данном случае будем предполагать, что наружный слой сформирован до приложения силы.

Для времени $t > \tau_1$ вследствие деформаций ползучести напряжения в арматуре увеличиваются, а в слоях бетона уменьшаются. Для $t \to \infty$, по теории упругой наследственности, напряжения определяются по формулам (1), (2), (3) с заменой $\alpha_{sя}$, $\alpha_{ня}$ и т.п. на

$$\alpha_{sя}^{long} = \frac{E_s(1+\varphi_{оя})}{E_я};\ \alpha_{ня}^{long} = \frac{E_н(1+\varphi_{оя})}{E_я(1+\varphi_{он})} \text{ и т.п.} \tag{4}$$

При отсутствии наружного слоя, с изменившимися деформативными и прочностными свойствами, этот эффект известен, как перераспределение усилий с бетона на арматуру. В данном случае такое перераспределение будет наблюдаться и при отсутствии арматуры, т.е. между слоями бетона. Для времени $t \to \infty$

$$\sigma_я(\infty) = \frac{\sigma_0}{1+\mu_н\left(\alpha_{ня}^{long}-1\right)}; \tag{5}$$

$$\sigma_н(\infty) = \frac{\sigma_0}{1+\mu_{ня}\left(\alpha_{ня}^{long}-1\right)}; \tag{6}$$

Если зона неоднородности распространиться на все сечение бетон снова станет однородным, внутренней зоны не останется. напряжения достигнут

$$\sigma_н = \sigma_0; \tag{7}$$

Если $\alpha_{ня}^{long} < 1$ перераспределение усилий происходит с наружного слоя на ядро. $\alpha_{ня}^{long} > 1$ процесс идет в противоположном направлении. А если $\alpha_{ня}^{long} = 1$ перераспределения усилий не происходит.

После введения вынужденной деформации в момент времени $t = \tau_1$ в дальнейшем упругая часть деформации уменьшается. Наблюдается релаксация напряжений и в арматуре и в бетоне. Допустим, что ползет только наружный слой. В арматуре и ядре деформации уменьшаются на величину $\varepsilon_{sвв}$ (Рис. 2). В наружном слое упругие деформации увеличиваются на величину деформаций сдерживания $\varepsilon_{сд}$ (Рис 2). Уменьшение деформаций в арматуре и ядре приводит к падению на величину $\Delta\sigma_s$ и $\Delta\sigma_я$, а в наружном слое, который ползет, увеличиваются по сравнению с бетонным элементом на величину $\Delta\sigma_н$. появление этих напряжений происходит за счет перераспределения усилий, т.к. наружный слой, арматура и ядро работают совместно. Поэтому должно выполнятся условие

$$\Delta\sigma_s \cdot A_s = \Delta\sigma_я(A_0 - A_s - A_н) + \Delta\sigma_н A_н; \qquad (8)$$

Полные напряжения к моменту времени t будут определяться следующим образом

$$\sigma_s^*(t,\tau_1) = E_s\varepsilon_0 - \Delta\sigma_s; \qquad (9)$$

$$\sigma_я^*(t,\tau_1) = E_я\varepsilon_0 - \Delta\sigma_я; \qquad (10)$$

$$\sigma_н^*(t,\tau_1) = E_н(\varepsilon_0 - \varepsilon_{н.св}^*) + \Delta\sigma_н. \qquad (11)$$

Здесь $\varepsilon_{н.св}^*$ - свободная деформация ползучести, т.е. бетонного элемента без арматуры при $\varepsilon_0 = const$.

Запишем напряжения и усилия через функции затухания в предположении, что ползет наружный слой согласно теории упругой наследственности

$$\sigma_s^*(t-\tau_1) = E_s\varepsilon_0 H_\sigma(t-\tau_1); \qquad (12)$$

$$\sigma_я^*(t-\tau_1) = E_я\varepsilon_0 H_\sigma(t-\tau_1); \qquad (13)$$

$$\sigma_н^*(t-\tau_1) = E_н\varepsilon_0 H_\sigma(t-\tau_1); \qquad (14)$$

$$N^*(t-\tau_1) = E_я A_0 H_N(t-\tau_1) \qquad (15)$$

Функции затухания

$$H_\sigma(t-\tau_1) = \frac{1+\mu_s(\alpha_{sя}-1) - \mu_н\left(1 - \alpha_{ня}\dfrac{1+\varphi_{0н}e^{-\gamma(1+\varphi_{0н})(t-\tau_1)}}{1+\varphi_{0н}}\right)}{1+\mu_s(\alpha_{sя}-1) + \mu_н(\alpha_{ня}-1)} \qquad (16)$$

$$H_N(t-\tau_1)=1+\mu_s(\alpha_{яs}-1)-$$
$$-\mu_н\left(1-\alpha_{ня}\frac{1+\varphi_{0н}e^{-\gamma(1+\varphi_{0н})(t-\tau_1)}}{1+\varphi_{0н}}\right) \qquad (17)$$

Если помножить $\mu_н = 1-\mu_s$, $\alpha_{ня}=1$ и переобозначить $\alpha_{sя}=\alpha_{sb}$ $\varphi_{0н}=\varphi_{0в}$, из (16) и (17) получим формулы функций затухания для железобетонного элемента без наружного слоя

При $t=\tau_1$

$$H_\sigma(0)=1;\; H_N(0)=1+\mu_s(\alpha_{sя}-1)-\mu_н(1-\alpha_{ня});$$

при $t\to\infty$

$$H_\sigma(\infty)=\frac{\alpha_{sн}\mu_s+\alpha_{ян}(1-\mu_s-\mu_н)+\mu_н/(1+\varphi_{0н})}{\mu_н+\alpha_{sн}\mu_s+\alpha_{ян}(1-\mu_s-\mu_н)};$$
$$H_N(0)=1+\mu_s(\alpha_{sя}-1)-\mu_н\left[1-\alpha_{ня}/(1+\varphi_{0н})\right].$$

В работе [1] функции затухания называются коэффициентами затухания. В формулах (12) и (13) и полученных ранее учитывается коэффициент армирования μ_s потому, что он может быть соизмеримым с относительной площадью наружного слоя $\mu_н$.

По сравнению с бетонным элементом напряжения в бетоне железобетонного элемента релаксируют медленнее. Арматура оказывает сдерживающее влияние (Рис.2). Создается впечатление, что усилие с арматуры передается на бетон. Этот результат следует понимать так, что арматура помогает бетону удерживать упругие деформации. Учитывая, что рассматриваемый элемент внутренне статически неопределим, принцип работы таких элементов следует расширить.

Вывод. Для внутренне статически неопределимых систем, материал которых обладает ползучестью, при силовых воздействиях усилия со временем перераспределяются с бетона на арматуру, а при вынужденных деформациях упругие деформации перераспределяются с арматуры на бетон.

Литература

1. Прокопович И.Е. Основы прикладной линейной теории ползучести. – К., «Вища школа», 1978, – 143с.