

РАБОТА АРМАТУРЫ И БЕТОНА ПРИ ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА С ТРЕЩИНАМИ.

Яременко А.Ф., Гапшенко В.С., Еньков Е.У. (Одесса)

Предлагаются уточненные формулы для вычисления коэффициента В.И. Мурашева при плоском напряженном состоянии железобетона с трещинами и длительном действии нагрузки.

Известно, что характер диаграммы растяжения железобетонного стержня существенно отличается от зависимости $\varepsilon_s - \sigma_s$ свободной арматуры. Влияние растянутого бетона между трещинами на средние деформации арматуры по предложению В.И. Мурашева учитывается при помощи коэффициента $\psi_s < 1$ путем повышения среднего модуля деформации:

$$E'_s = E_s / \psi_s \quad (1)$$

В условиях плоского напряженного состояния железобетона при ортогональном армировании в направлениях $i = x, y$ (рис. 1), работа арматуры в наклонных трещинах на сдвиг может быть учтена посредством введения корректирующих коэффициентов λ_i [1], характеризующих влияние касательных напряжений арматуры на ее продольные деформации. Исследования, проведенные на растянутых образцах-дисках [1,2,4,7,9] показали, что величину коэффициентов ψ_{si} можно определить по формуле:

$$\psi_{si} = 1 - 0,75 \frac{R_{bt} \lambda_{crc}}{\sigma_n \lambda_i} = 1 - 0,75 \frac{\lambda_{crc}}{\lambda_i} \cdot \frac{1}{\eta_n^\sigma} \quad (2)$$

где: λ_{crc} - величина коэффициента λ_i в момент трещинообразования

$$\lambda_{crc} = \max(\lambda_{i,crc}) \geq 0,6$$

$\eta_n^\sigma = \sigma_n / R_{bt}$ - уровень растягивающих напряжений.

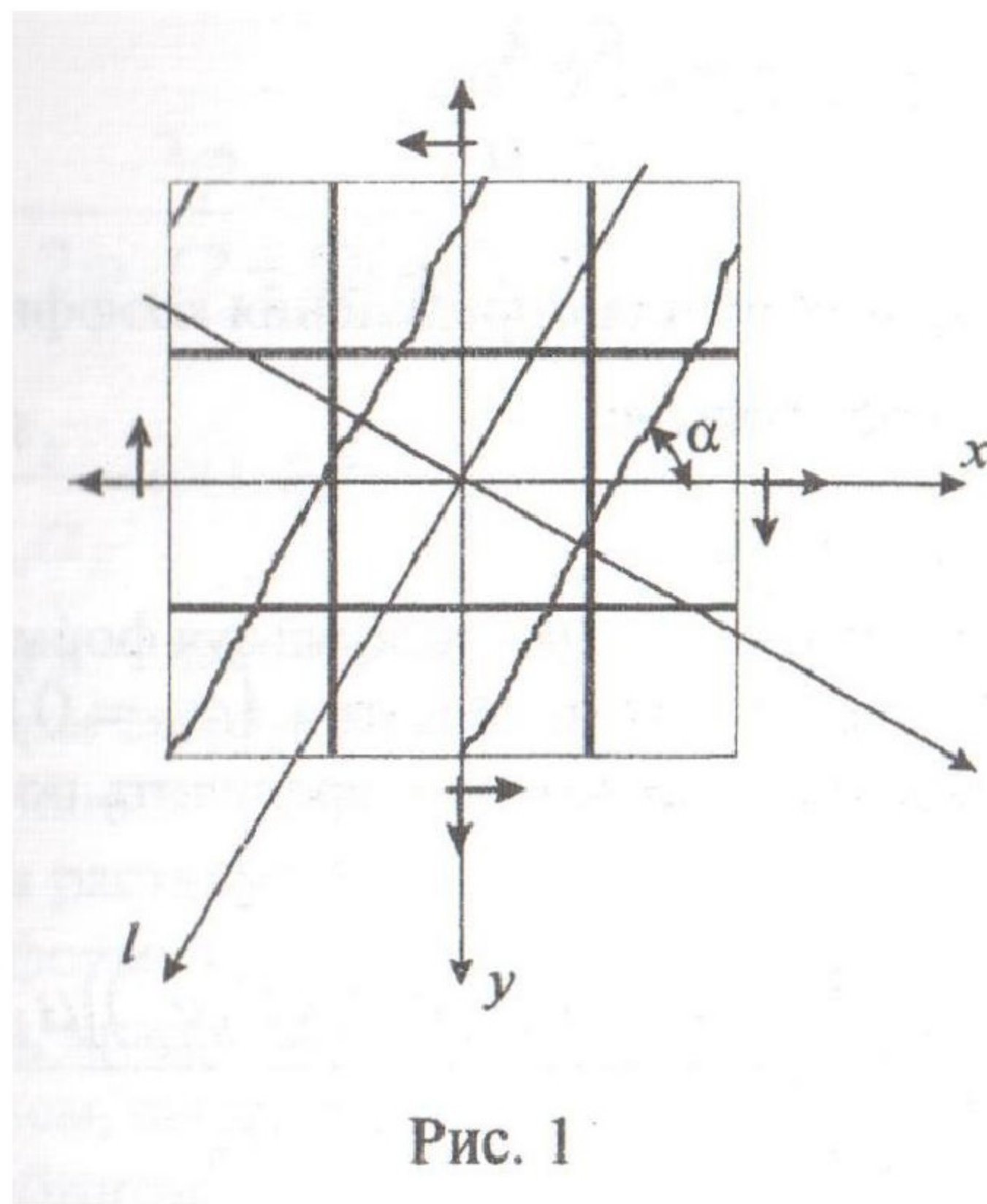


Рис. 1

В случае более сложного плоского напряженного состояния “растяжение – сжатие”, рекомендации по определению ψ_{Sl} не согласуются у разных авторов [3,6].

Предлагаемая методика обработки экспериментальных данных [3,6], а также данных, полученных при испытании железобетонных дисков [8], позволила уточнить формулу (2) для вычисления ψ_{Sl} в условиях растяжения в направлении оси n и сжатия в направлении оси l .

Для образцов с углом наклона трещин к арматурным стержням $\alpha = 90^\circ$ ($x = n$) средние относительные деформации железобетона в направлении усилия растяжения n :

$$E_n = C_n \sigma_n + C_{nl} \sigma_l \quad (3)$$

$$\text{где: } C_n = \frac{\psi_{sx} \lambda_x}{\mu_{sx} E_{sx}}; \quad C_{nl} = -\mu_b C_l; \quad C_l = \frac{1}{E_b \nu_b},$$

причем μ_b коэффициент Пуассона; ν_b - коэффициент, учитывающий пластические деформации бетона при загрузении; σ_n и σ_l -растягивающие и сжимающие напряжения.

Выражение для ψ_{sx} можно записать, используя (2), в виде

$$\psi_{sx} = 1 - 0,75 \varphi_{ps} \frac{R_{bt} \lambda_{сгс}}{\sigma_{sx} \mu_{sx}} \quad (4)$$

$$\text{Обозначив } A_0 = 0,75 \frac{R_{bt} \lambda_{crc}}{\sigma_{sx} \mu_{sx}}, \quad (5)$$

получим выражение для определения коэффициента φ_{ps} , учитывающего поперечное обжатие:

$$\varphi_{ps} = (1 - \psi_{sx}) / A_0 \quad (6)$$

Если подсчитывать A_0 и ψ_{sx} используя формулы (2),(3) для образцов из опытов без поперечного обжатия ($\sigma_l = 0$) то значения φ_{ps} в растянуто – сжатых образцах можно определить по (6), подставляя величины ψ_{sx} из (3) при

$$\sigma_l \neq 0 \quad \varphi_{ps} = \left[1 - \frac{(\varepsilon_n - \mu_b |\sigma_l| / (E_b \nu_b)) \mu_{sx} E_{sx}}{k \lambda_x \sigma_n} \right] / A_0, \quad (7)$$

где: $k=1$ при $\alpha=90^\circ$ и $k=2$ при $\alpha=45^\circ$.

Анализ показывает, что функция φ_{ps} не зависит от угла α и ее можно с достаточной степенью точности описать полиномом второй степени (коэффициент вариации 0,23) :

$$\varphi_{ps} = 1 + 1,2 \eta_l^\sigma (1 - 2 \eta_l^\sigma), \quad (8)$$

где η_l^σ - уровень поперечного обжатия:

$$\eta_l^\sigma = |\sigma_l| / R_b.$$

Функция φ_{ps} может быть также выражена через уровень относительных деформаций $\eta_l^\varepsilon = \varepsilon_l / \varepsilon_u$ где $\varepsilon_u = 200 \cdot 10^{-5}$ - предельная деформация сжатого бетона.

В результате обработки экспериментальных данных предложена зависимость:

$$\varphi_{ps} = 1 + 1,4 \eta_l^\varepsilon (1 - 3 \eta_l^\varepsilon). \quad (9)$$

Так как имеющиеся экспериментальные данные ограничены диапазоном $0,06 \leq \eta_l^\sigma \leq 0,75$, то рекомендуется принимать $\varphi_{ps} \geq 0,5$.

Изменение ψ_{si} во времени может быть учтено введением в формулу (4) коэффициента, учитывающего длительное действие нагрузки $\varphi_{ls,j}$:

$$\Psi_{si} = 1 - 0,75 \varphi_{ls,j} \varphi_{ps} \lambda_{i,crc} / (\eta_n^\sigma \lambda_i), \quad (10)$$

где:

$$\varphi_{ls,t} = 1 - \frac{3\varphi_{si}}{3 + 2\varphi_{si}(2 + \Omega(t_0))}, \quad (11)$$

$$\varphi_{si} = \frac{2\mu_{si}\alpha_E}{1 + 2\mu_{si}\alpha_E} \varphi(t, t_0), \quad (12)$$

причем $\varphi(t, t_0)$ – характеристика ползучести; $\Omega(t_0)$ – функция, учитывающая влияние старения бетона [10].

Значения функции φ_{ls} представляют собой коэффициенты затухания напряжений в растянутой зоне бетона в сечении между трещинами, а приведенные формулы являются, по сути дела, упрощенным вариантом зависимостей, предложенных И.Е.Прокоповичем.

Таким образом, выявлено влияние ориентации арматурных стержней, поперечного обжатия и длительности действия постоянной нагрузки на величину коэффициентов Ψ_{si} ($i = x, y$).

Сопоставление вычисленных по предлагаемой методике средних деформаций арматуры и деформаций в трещине с экспериментальными данными разных авторов показало вполне удовлетворительное соответствие.

Литература

1. Карпенко Н. И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 204с.
2. Григорьянц Л. М. Экспериментальное исследование напряженного состояния арматуры и бетона при наличии наклонных трещин. – В сб.: Строительные конструкции, здания и сооружения, ЦНИИЭП сельстрой, вып.17. – М., 1977.
3. Гусейнов Н. А. Исследование деформаций и прочности железобетонных элементов с трещинами при напряженном состоянии “растяжение-сжатие”. – В сб.: Прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М., 1979 с. 44 – 57.
4. Еньков Е. У. Физические зависимости плоского напряженного состояния железобетона с трещинами в условиях ползучести и экспериментальное обоснование соответствующих параметров. – В сб.: Строительные конструкции. – К., Будівельник, 1979, вып. 32, с. 54 – 57.
5. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
6. Яременко А. Ф., Мельник А. Я. Длительное деформирование железобетонных дисков с трещинами. – В сб.: Строительные конструкции. – К., Будівельник, 1979, вып. 35, с. 40-44.

7. Мельник А. Я. Распределение напряжений в арматуре железобетонных дисков с трещинами. – Изв. Вузов. Сер. Стр-во и архит., 1980, №10. с. 16-19.

8. Яременко А. Ф., Гапшенко В. С. Кратковременная и длительная прочность растянуто-сжатых дисков с трещинами. – Бетон и железобетон, 1986, №12, с. 23-24.

9. Яременко А. Ф., Гапшенко В. С., Еньков Е. У. Параметры физических зависимостей железобетона с трещинами. – У зб.: Вісник ОДАБА. – Одеса, “Місто майстрів”, 2000, вип. 1, с. 6-8.

10. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетонных железобетонных конструкций.-М.,Стройиздат,1988.-121с.