

**ДО ВРАХУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ АРМАТУРИ
ПРИ ОЦІНЦІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
РОЗРАХУНКОВОГО ПЕРЕРІЗУ
ЗА ДЕФОРМАЦІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ**

© Бамбура А.Н., 2010

Наведено метод і залежності щодо визначення напружень в арматурі попередньо напружених залізобетонних елементів на будь-якому етапі навантаження при використанні деформаційного методу розрахунку.

Ключові слова: деформаційна модель, попередньо напружений залізобетон, етап навантаження.

Method and dependences for determination of stresses in reinforcement of prestressed reinforced concrete elements on any stage of loading at using of deformation calculation method are presented in paper.

Keywords: deformation calculation method, prestressed reinforced concrete, stage of loading.

Загальновідомо, що в звичайних залізобетонних конструкціях власні напруження виникають внаслідок фізико-хімічних процесів, які відбуваються в бетоні з часом. Як правило, ці напруження невеликі і незначно впливають на роботу конструкцій. Тому в більшості відомих нам пропозицій і в нормах їхній вплив на напружено-деформований стан не враховується. Інша річ, коли розглядаються конструкції з попередньо напруженою арматурою. В останніх, крім власних напружень, які виникають самочинно, в процесі їхнього виготовлення в арматурі створюється наперед задана величина напружень. Попереднє напруження арматури чинить дуже сильний вплив на властивості попередньо напружених конструкцій, значно підвищує їхню жорсткість і тріщиностійкість, а також їхню витривалість при впливі багаторазово повторних навантажень, і при значних гнучкості та ексцентриситетах прикладення навантаження збільшує стійкість гнучких позacentрово стиснутих елементів.

Існує декілька видів створення попереднього напруження конструкцій, з яких найвідоміші: натягнення арматури на упори форми чи стенда з обтисненням бетону конструкції після досягнення ним необхідної міцності; натягнення арматури на затверділий бетон конструкції з одночасним його обтисненням; натягнення арматури на свіжоукладений бетон у спеціальних замкнутих формах. Зрозуміло, що за час від натягнення арматури до зовнішнього навантаження конструкції в арматурі виникають втрати попереднього напруження. Не будемо тут докладно зупинятись на всіх стадіях існування попередньо напруженої конструкції і способах визначення втрат попереднього напруження в арматурі залежно від виду створення попереднього напруження, ці відомості мають виключно емпіричний характер і докладно висвітлені в нормах.

Для нас найважливіше досить точно отримати величину втрати напруження в арматурі при обтисненні бетону конструкції, а також від усадки і повзучості бетону. Оскільки в перерізі, крім попередньо напруженої арматури, наявна і ненапружена арматура, в останній в процесі обтиснення, усадки і повзучості бетону виникають напруження протилежного знака напружень попередньо напруженої арматури. Напруження в попередньо напруженій арматурі, в ненапруженій арматурі і в бетоні, які встановилися після обтиснення бетону конструкції, називатимемо початковими. Для визначення початкових напружень в арматурі і бетоні використовують ті самі формули, що і для оцінки напружено-деформованого стану розрахункового перерізу [1, с. 25; 2, с. 121–130].

Для визначення початкових напружень за деформаційною методикою [3, с. 19–25] відшукується рівновага перерізу від попереднього напруження арматури. Напруження в попередньо напруженій арматурі приймаються з урахуванням перших втрат.

Вплив попереднього напруження на напружено-деформований стан залізобетонних елементів, їх несучу здатність, тріщиностійкість і деформативність неважко врахувати під час складання рівнянь рівноваги і деформацій. Так, у формулах для оцінки напружено-деформованого стану розрахункового перерізу, наведених в [3, с. 121–130], замість ε_{b1} і ε_2 слід записати $\varepsilon_{b1} + \varepsilon_{b1,0}$ і

$\varepsilon_2 + \varepsilon_{2,0}$, а зусилля, які виникають в арматурі, визначити через суму $\sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si}$. Напруження в кожному стрижні (прошарку) арматури залежно від виду арматури і рівня деформацій визначаються за такими формулами.

При деформаціях $\varepsilon_s \leq \beta_{R1} R_s/E_s$ діаграма описується рівнянням прямої лінії типу $\sigma_s = E_s \varepsilon_s$.

При деформаціях $\varepsilon_s > \beta_{R1} R_s/E_s$ діаграма арматури описується рівнянням типу:

$$\sigma_s = \beta_{R1} R_s + a_1 \bar{\varepsilon}_s + a_2 \bar{\varepsilon}_s^{1/2} + a_3 \bar{\varepsilon}_s^{1/3}, \quad (1)$$

де $\bar{\varepsilon}_s = (\varepsilon_s - \varepsilon_{st}) / \varepsilon_{st}$, причому $\varepsilon_{st} = \beta_{R1} R_s/E_s = 0.8 R_s/E_s$, a_1 , a_2 і a_3 – коефіцієнти, наведені в таблиці. При цьому величина $\beta_{R1} = 0.8$.

Значення коефіцієнтів a_i залежності (1) для описання діаграми арматурної сталі для розрахунку за обома групами граничних станів

№ з/п	Клас арматури	Характеристичні та розрахункові значення для другої групи граничних станів			Розрахункові значення для першої групи граничних станів		
		a_1	a_2	a_3	a_1	a_2	a_3
1	A400*	-2.3393	33.3486	5.6033	-2.1577	32.3361	1.2614
2	A500*	-4.0520	51.1607	3.9200	-3.5994	47.4599	0.1569
3	A600	-3.8345	1.5525	120.755	-3.3272	5.7498	96.665
4	A700	-10.1634	56.8931	96.980	-8.1304	52.6502	-68.711
5	A800	-27.888	201.426	-168.386	-44.8955	399.810	-270.12
6	A1000	-80.1251	553.125	-236.946	-63.6917	466.400	-218.35

*Деформації текучості ε_{st} прийняті такими, що дорівнюють 1,5 % для арматури класу A500 і 2,0 % для арматури класу A400. У разі потреби величина деформацій текучості може бути визначена точніше з випробувань зразків арматури.

У нормативних документах не нормуються принаймні два параметри діаграми деформування арматурної сталі, які необхідні для аналітичного її описання, – ε_{st} і σ_{su} . Ці два параметри неважко отримати при випробуваннях арматури і з аналізу літературних даних. Так, відомо, що величина відрізка текучості м'якої сталі лежить у межах $0,7 \times 10^2$ до $2,5 \times 10^2$ відн. од.

Величина деформацій, які виникають від дії зовнішнього навантаження та попереднього напруження в арматурі, визначається за формулою:

$$\varepsilon_{si} = \kappa(x_1 - z_{si}) + \varepsilon_{si,0}, \quad (2)$$

де перший член формули (1) – $\kappa(x_1 - z_{si})$ деформації в i -й арматурі від зовнішнього навантаження; $\varepsilon_{si,0}$ – початкові, до прикладення зовнішнього навантаження, деформації; κ – кривина в перерізі; z_{si} – відстань від найбільш стиснутої грані перерізу до стержня (прошарку) арматури, що розглядається.

Докладніше розглянемо визначення початкових деформацій і напружень в арматурі. Як основний вид для попереднього напруження використовується високоміцна арматура або канати, які не мають площадки текучості.

Для високоміцної арматури та канатів, умовна діаграма яких наведена на рис. 1, можливі два випадки. Перший: якщо попереднє напруження не перевищує границі пропорційності арматури $\sigma_{spi} \leq 0,8R_{si}$, точка 1. Втрати попереднього напруження відбуватимуться по прямій 1–2. Нехай кінцевою точкою цих втрат буде точка 2, в якій встановилися напруження $\sigma_{spi,0}(1)$, які і будуть прийматися за початкові напруження. При прикладенні зовнішнього навантаження (зокрема і від власної ваги конструкції) напруження в арматурі збільшуватимуться, причому можливі два підвипадки:

$$1. \text{ Якщо } \varepsilon_{si} + \varepsilon_{spi,0}(1) \leq \varepsilon_{sli} = \frac{0,8R_{si}}{E_{si}}, \quad \sigma_{si} = (\varepsilon_{si} + \varepsilon_{spi,0}(1))E_{si}. \quad (3)$$

2. Якщо $(\varepsilon_{si} + \varepsilon_{spi,0}(1)) \geq \varepsilon_{sli}$, в арматурі починають розвиватися пластичні деформації, і напруження визначаються за формулою

$$\sigma_{si} = 0,8R_{si} + a_{s1}\bar{\varepsilon}_{si} + a_{s2}\bar{\varepsilon}_{si}^2 + a_{s3}\bar{\varepsilon}_{si}^3, \quad (4)$$

де $\bar{\varepsilon}_{si} = (\varepsilon_{si} + \varepsilon_{spi,0}(1) - \varepsilon_{sli}) / \varepsilon_{sli}$.

Коефіцієнти a_{s1} , a_{s2} , a_{s3} наведені в таблиці.

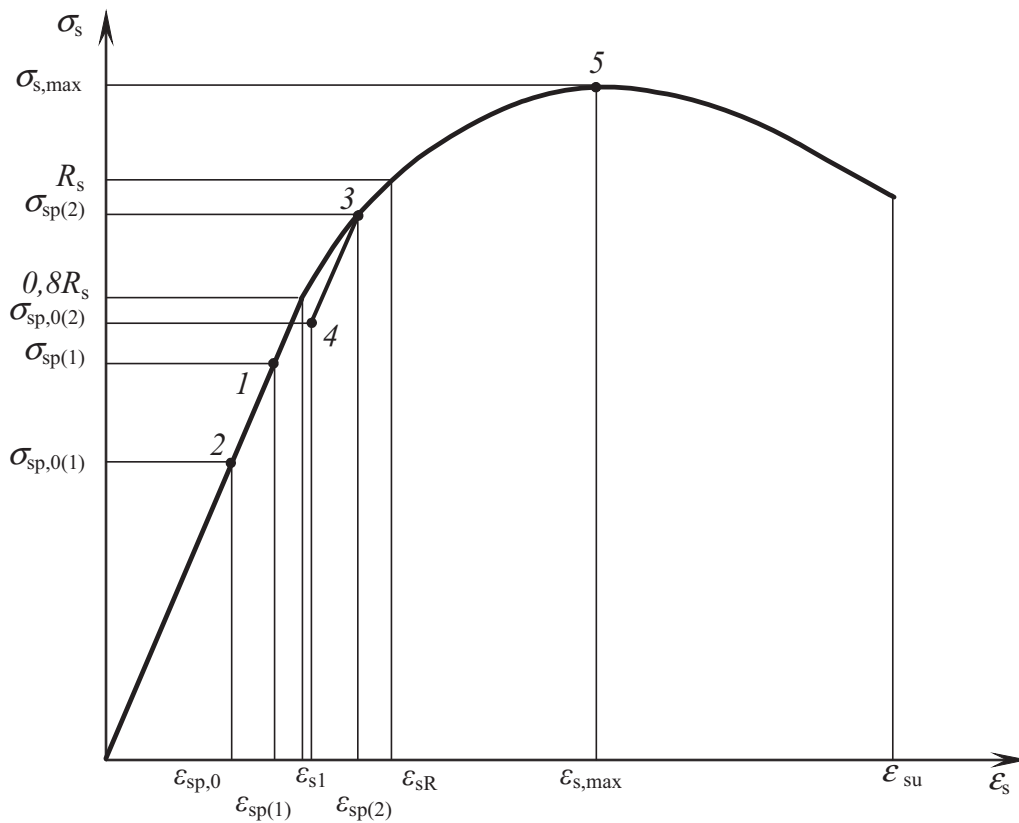
Другий випадок характеризується тим, що напруження натягу в попередньо напружених стрижнях σ_{spi} більші від границі пропорційності, в арматурі розвинулись залишкові пластичні деформації. Припустимо, що напруження натягу в арматурі відповідає точці 3 на рис. 1. Розвантаження за рахунок втрат до напружень $\sigma_{spi,0}$ відбувається пружно (відрізок 3–4 на рисунку). При подальшому збільшенні напружень від зовнішнього навантаження деформування відбуватиметься знову по відрітку 4–3, так, що пружні деформації спостерігатимуться вже не до напружень $\sigma_{si} = 0,8R_{si}$, а до напружень $\sigma_{si} = \sigma_{spi}$. При значеннях напружень $\sigma_{si} > \sigma_{spi}$ деформування відбувається по кривій 3–5. Тому і другий випадок має два підвипадки.

1. При $\varepsilon_{si} + \varepsilon_{spi,0}(2) \leq \varepsilon_{spi}$, де ε_{spi} – деформації попереднього напруження арматури σ_{spi} . У разі, коли при натягу деформації не фіксуються, їх можна визначити за діаграмою деформування арматури, знаючи зусилля натягу. Тут $\varepsilon_{spi,0}(2) = \varepsilon_{spi} - \frac{\sigma_{spi} - \sigma_{spi,0}(2)}{E_{si}}$. Напруження в арматурі при прикладенні зовнішнього навантаження визначається за формулою

$$\sigma_{si} = \sigma_{spi,0}(2) + \varepsilon_{si}E_{si}. \quad (5)$$

$$2. \text{ При } \varepsilon_{si} + \varepsilon_{spi,0}(2) \geq \varepsilon_{spi}, \quad \sigma_{si} = 0,8R_{si} + a_1\bar{\varepsilon}_{si} + a_2\bar{\varepsilon}_{si}^2 + a_3\bar{\varepsilon}_{si}^3, \quad (6)$$

де $\bar{\varepsilon}_{si} = (\varepsilon_{spi} - \frac{\sigma_{spi} - \sigma_{spi,0}(2)}{E_{si}} - \varepsilon_{sli}) / \varepsilon_{sli}$, $\varepsilon_{sli} = \frac{0,8R_{si}}{E_{si}}$ коефіцієнти a_1 , a_2 , a_3 , дивись таблицю.



До визначення напружень в арматурі для попередньо напружених конструкцій

Висновок. Зазначимо, що викладене вище справедливе і для попередньо напружених конструкцій при оцінці напружено-деформованого стану при довготривалій дії навантаження, оскільки в процесі розв'язання рівнянь рівноваги за деформаційним методом ми завжди знаємо величину деформацій в арматурі на будь-якій стадії роботи розрахункового перерізу. Дуже важливо також мати достатню інформацію про параметри попереднього напруження арматури.

1. Бамбура А., Бачинский В. и др. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона. – К.: НИИСК, 1987.
2. Бамбура А., Гурковский А. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе // Міжвід. наук.-техн. зб. “Будівельні конструкції”. – К.:НДБК, 2003. – № 59.
3. Бамбура А., Гурківський О., Безбожна М., Дорогова О. Деформаційна модель та алгоритм визначення напружено-деформованого стану розрахункового перерізу залізобетонних елементів // Стrojительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. – Вып. № 50. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009.