

УДК 624.01

## **НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН АРМАТУРНОЇ СТАЛІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**М.Г.ЧЕКАНОВИЧ** к. т. н., доцент, Херсонський ДСГІ

Для залізобетонних елементів сільськогосподарського призначення, а саме балок, плит, рам, стояків, паль, лотків, напружений стан арматурної сталі багато в чому визначає їх техніко-економічні показники. Тому для якісного моделювання роботи залізобетонних елементів на всіх стадіях їх навантаження, аж до повного руйнування, слід мати загальне рівняння напружено-деформованого стану арматурної сталі.

На шляху створення такого рівняння існує ряд труднощів. Характер залежності напруження - деформації має відносно різку зміну окреслення від прямої лінії до кривої при проходженні діаграми " $\sigma_S - \varepsilon_S$ " через певні межі. Спроба апроксимувати таку залежність елементарною функцією дає великі розбіжності (використовувалася програма для ПЕОМ Академії наук України "Експериментатор"). Запровадження поліноміальних залежностей високих порядків - вище п'ятого - зменшує математичні розбіжності за абсолютною величиною, але фізичний характер такої кривої далекий від дійсної роботи арматурної сталі. Графічно ця залежність виглядає як хвиля, що коливається навколо експериментальних точок. З підвищенням порядку поліному збільшується кількість максимумів та мінімумів апроксимуючої кривої.

В той же час відомі надійні розрахункові залежності для дискретного описання діаграм " $\sigma_S - \varepsilon_S$ " арматурної сталі. На рис. 1 показана розрахункова залежність " $\sigma_S - \varepsilon_S$ " для арматурної сталі, що має фізичну ділянку текучості. Для сталі з умовною межею текучості та сама залежність показана на рис.2. Окремо кожний лінійний відрізок розрахункової діаграми " $\sigma_S - \varepsilon_S$ " добре описується виразом у вигляді добутка відносних деформацій і відповідного модуля деформацій арматурної сталі. Поєднання окремих розв'язків в одну

неперервну залежність стає можливим завдяки введенню спеціальної функції у вигляді декількох виразів для коефіцієнтів, на які домножаються відомі дискретні залежності.

Для вище згаданих коефіцієнтів одержимо вирази, скориставшись властивостями іраціональної математичної функції з непарним степенем:

$$K_{oi} = S_i + 0.5 \quad (1)$$

$$K_{li} = 0.5 - S_i \quad (2)$$

$$\text{де } S_i = 0.5(\varepsilon_S - Q_i)^{1/2}$$

Тут  $n$  - непарне ціле натуральне число, від величини якого залежить точність запропонованої функції. Для більшості практичних розрахунків величина  $n = 9999$  повністю задовольняє необхідну точність.

Як впливає з рисунків, значення коефіцієнтів  $K_{oi}$  і  $K_{li}$  симетрично протилежні на графіках і різко змінюються від нуля до одиниці і навпаки. Межею такої різкої зміни є величина  $Q_i$ . Враховуючи ці властивості, при відповідному домноженні коефіцієнтів  $K_{oi}$  і  $K_{li}$  на вирази для лінійних залежностей діаграми " $\sigma_S - \varepsilon_S$ " стає можливим з'єднати дискретні вирішення в одну всеохоплюючу залежність. Останнє досягається завдяки збереженню величини однієї лінійної функціональної залежності при домноженні її на коефіцієнт близький за величиною до одиниці, а інших - зведенням до нуля при домноженні їх на коефіцієнт близький нульовому значенню.

Виходячи з вищенаведеного, складемо загальні рівняння напружено-деформованого стану для арматурних сталей з фізичною і умовною межами текучості. Для сталі, що має фізичну ділянку текучості, діаграма " $\sigma_S - \varepsilon_S$ " (рис. 1) дискретно описується двома лінійними залежностями:

$$\sigma_S = E_S \cdot \varepsilon_S \quad (3)$$

$$\sigma_S = R_S \quad (4)$$

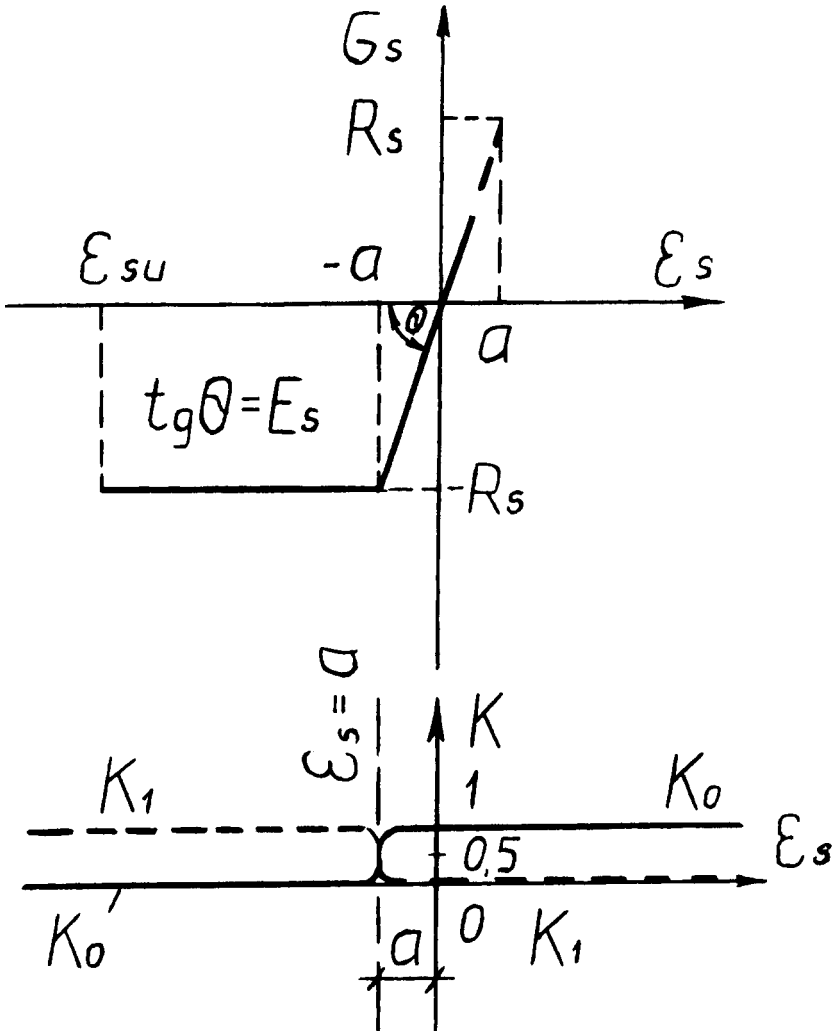


Рис.1 – Розрахункова діаграма " $\sigma_s - \epsilon_s$ " та відповідна залежність " $K_i - \epsilon_s$ " для арматурної сталі з фізичною межею текучості

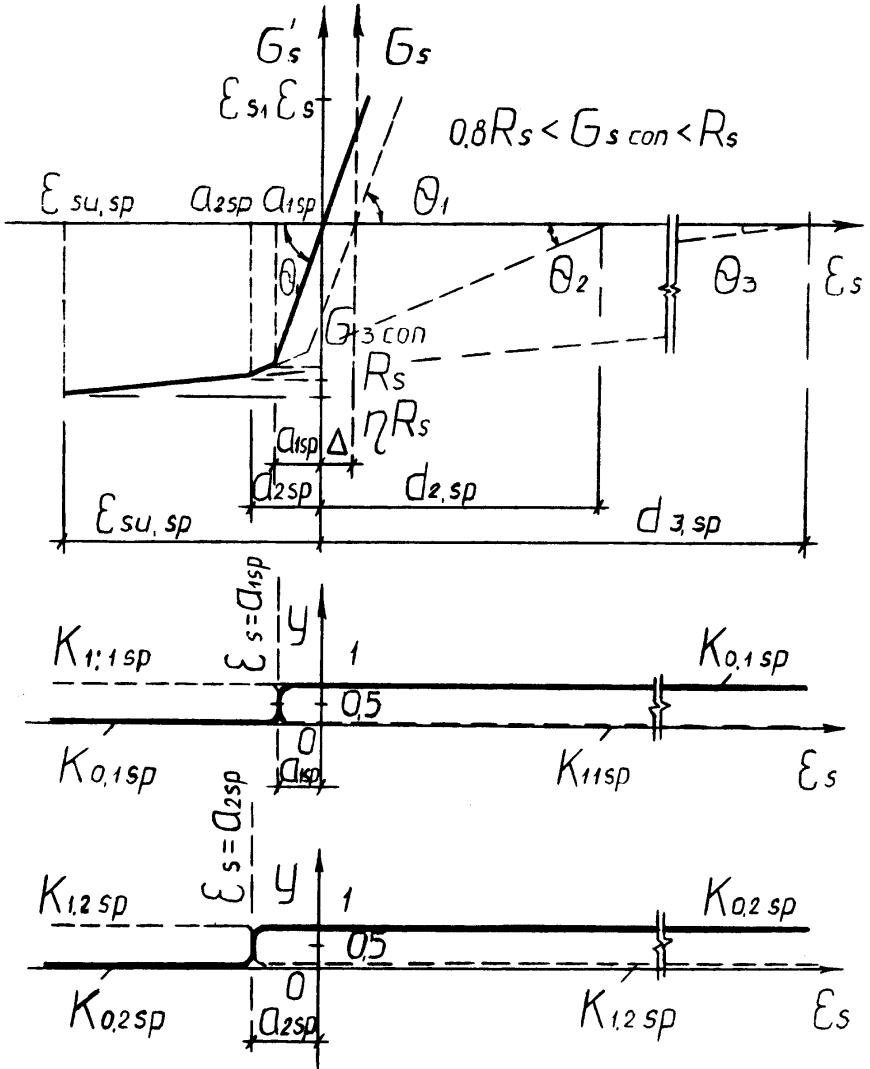


Рис.2 – Розрахункова діаграма " $\sigma_s - \epsilon_s$ " та відповідна залежність " $K_{ji} - \epsilon_s$ " для арматурної сталі з умовною межею текучості

Величина  $Q$  є межею зміни залежностей і визначається за виразом:

$$a = \frac{R_s}{E_{S1}} \quad (5)$$

Поєднаємо окремі відомі залежності (3) і (4) в одне загальне неперервне рівняння напружено-деформованого стану сталі з фізичною ділянкою текучості шляхом домноження їх на коефіцієнти  $K_0$  і  $K_1$

$$\sigma_s = K_0 E_{S1} \varepsilon_s + K_1 R_s \quad (6)$$

Аналогічно одержана формула для визначення напружено-деформованого стану арматурної сталі з умовною межею текучості (рис.2):

$$\sigma_s = K_{02} [K_{01} E_{S1} \varepsilon_s + K_{11} E_{S2} (\varepsilon_s - d_2)] + K_{12} E_{S3} (\varepsilon_s - d_3) \quad (7)$$

У випадку, коли немає попереднього напруження арматури, або воно не перевищує величини  $0,8 R_s$  на стиск і розтяг, значення чотирьох коефіцієнтів  $K_{ji}$  визначаються за формулами (1) і (2) з урахуванням меж  $a_1$  та  $a_2$ :

$$a_1 = \frac{0,8 R_s}{E_{S1}} \quad (8)$$

та

$$a_2 = \frac{R_s}{E_{S1}} - 0,002 \quad (9)$$

В формулі (7)  $d$  - умовні початкові деформації для кожної окремої лінійної ділянки графіка " $\sigma_s - \varepsilon_s$ " (див. рис.2 ). Для першої ділянки вони нульові  $d_1 = 0$ , для другої

$$d_2 = 0,8 R_s \left( \frac{i}{E_{S3}} - \frac{i}{E_{S1}} \right) \quad (10)$$

і для третьої

$$d_3 = \frac{d_2}{0,8} - 0,002 \quad (11)$$

Якщо величина попереднього напруження арматурної сталі більша за  $0,8 R_s$ , то відбуваються частково незворотні деформації сталі, які можна врахувати величиною  $\Delta$ :

$$\Delta = (\sigma_{Scon} - 0.8R_s) \left( \frac{i}{E_{S2}} - \frac{i}{E_{S1}} \right) \quad (12)$$

Тоді залежності (8), (9) і (11) набудуть наступного вигляду:

$$a_{1sp} = \frac{\sigma_{Scon}}{E_S} \quad (13)$$

$$a_{2sp} = a_2 - \Delta \quad (14)$$

$$d_{2sp} = d_2 + \Delta \quad (15)$$

$$d_{3sp} = d_3 + \Delta \quad (16)$$

Таким чином одержані всі необхідні залежності для визначення напружено-деформованого стану арматурної сталі з фізичною і умовною межами текучості.

На прикладі арматурної сталі класу А-V з умовною межею текучості, яка має попереднє напруження  $\sigma_{Scon} = 610$  МПа, що перевищує межу  $0,8 R_s$  визначимо напруження  $\sigma_S$  за заданими деформаціями  $\varepsilon_S$ . Розрахунки виконаємо з точністю, що відповідає  $n=9999$ . Результати розрахунків і контрольні значення напружень сталі наведені в таблиці.

Як впливає з таблиці, відхилення розрахованих за формулою (7) значень напружень арматурної сталі  $\sigma_S$  від контрольних при вибраній точності незначні, що дозволяє застосовувати розрахунковий апарат в практиці проектування.

З вищенаведеного можна зробити висновок, що одержана формула напружено-деформованого стану арматурної сталі у вигляді неперервної функції, яка дозволяє описати її роботу на всіх стадіях навантаження звичайних і попередньо напружених залізобетонних елементів сільськогосподарського призначення аж до моменту їх руйнування. Запропонований математичний підхід; щодо об'єднання дис-

кретних вирішень для одного фізичного процесу в одне узагальнююче і неперервне математичне рівняння може мати застосування також і для розв'язку багатьох інших завдань теорії проектування.

Таблиця - Напруження в сталі з умовною межею текучості

$\varepsilon_s$	$K_{01SP}$	$K_{11SP}$	$K_{02SP}$	$K_{12SP}$	$\sigma_s, МПа$	
					за формулою (7)	точне значення
0,0005	0,99972	0,00028	0,99974	0,00026	-94,7	-95,0
-0,0005	-0,9997	0,0003	0,99972	0,00027	-95,3	-95,0
-0,00321	0,5	0,5	0,99967	0,00033	-609,9	-610,0
-0,00461	0,00033	0,99967	0,5	0,5	-680,0	-680,0
-0,01903	0,00021	0,99979	0,00021	0,99979	-782,1	-782,0

УДК 624.012.35

## **ПОПЕРЕДНЬО ОБТИСНЕНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ ЕЛЕМЕНТИ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДОРСТВА**

**М.Г. ЧЕКАНОВИЧ** – к.т.н., доцент,  
Херсонський ДСГІ

За прогнозами фахівців на найближче майбутнє залізобетон в сільському будівництві буде залишатися одним з основних будівельних матеріалів. Його попереднє обтиснення, як відомо, сприяє поліпшенню якості і ефективності елементів будівель та споруд. В сільському господарстві до таких відносяться елементи бункерів і силосів для зберігання сипучих матеріалів, резервуарів в системі забезпечення водою тваринницьких ферм, підпірних стін зерно- і картоплесховищ, господарських будівель та багато інших.

Серед можливих методів попереднього напруження залізобетону є й такий, що підвищує не тільки тріщиностійкість, але й значно збільшує його міцність, морозостійкість, і водонепроникненність. Останнє досягається завдяки обтисканню незатверділої бетонної суміші. Внаслідок обтискання бетону суміш ущільнюється, з неї видаляється надлишок води, повітря, усуваються макро- і частково мікродефекти структури бетону. Автором розроблена технологія виготовлення залі-