

ВПЛИВ ДОДАТКОВОЇ АРМАТУРИ НА МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАЦІЇ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ ЇХ ПІДСИЛЕННІ

© Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Крамарчук А.П., 2004

Описані результати досліджень прогинів та міцності згинаних сталобетонних елементів, які підсилювали додатковою ненапруженою розтягнутою арматурою при різних рівнях навантаження.

Presented results of research on short-termed loading of firmness of bent elements in which under the conditions of various levels of starting loading and reinforcement, the additional reinforcing bars and beams were applied and subsequently ruined.

Вступ. Зростаючий обсяг робіт з реконструкції існуючих будівель і споруд вимагає заміни технологічного обладнання, зміни планувальних рішень, що здебільшого пов'язано із збільшенням навантаження на несучі конструкції, які необхідно підсилювати. Як показує досвід реконструкція виробничих площ і пов'язане з нею підсилення конструкцій економічно вигідне.

Необхідність підсилення перекрить під час експлуатації виникає не тільки при реконструкції, але і з причини фізичного старіння конструкцій, зумовленого різними факторами. Тривала в часі експлуатація конструкцій в змінних температурно-вологісних умовах знижує їх експлуатаційну надійність, а наявність агресивного середовища значно прискорює втрату несучої здатності конструкцій. Тому підсилення залізобетонних перекрить здійснюється не тільки для підвищення несучої здатності і експлуатаційної придатності при зміні діючих на них навантажень, а також і для відновлення несучої здатності за появи дефектів і пошкоджень у конструкціях, які знижують їх несучу здатність. Практика свідчить, що підсилення за рахунок встановлення додаткової арматури є найефективнішим для збільшення міцності згинаних елементів. Тим більше, що конструкції підсилюються, як правило, після тривалого часу експлуатації, що сприяє зміцненню стиснутої зони за рахунок зростання міцності бетону і є можливість довантаження стиснутої зони за рахунок додаткової арматури.

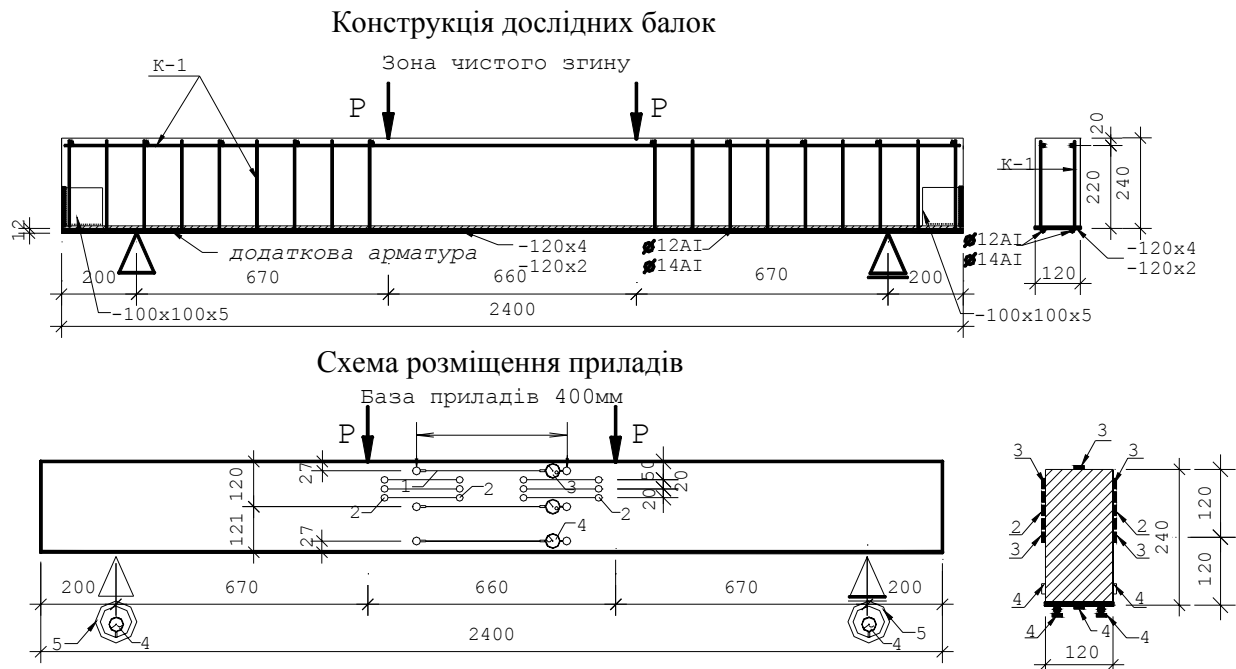
Актуальність і мета досліджень. У чинній нормативній літературі (СНиП 2.03.01-84* і зміні № 1 для ДБН України та ДБН В.3.1.-1-2002) детально не розглядається розрахунок міцності та деформацій згинаних елементів, підсиленних арматурою в розтягнутій зоні, а подані лише загальні вказівки з розрахунку і конструювання залізобетонних конструкцій при підсиленні. У пункті 1.4 ДБН В.3.1.-1-2002 вказано: "При розрахунку будівельних конструкцій, підсилення яких виконується під навантаженням, необхідно враховувати напруження наявні на час підсилення у конструкціях". Проведені раніше дослідження стосуються переважно способів, методів та технології підсилення, які не враховують напруженого стану елемента до встановлення додаткового армування. У частині досліджень, передісторію роботи згинаного елемента до підсилення рекомендується проводити приблизно, понижуючи рівень напруження в арматурі за допомогою коефіцієнтів, які враховують лише рівень розвантаження. Відсутні рекомендації з оцінки залишкового напруженого стану згинаного елемента при визначенні кількості додаткового армування. Тому, при виконанні підсилення, кількість арматури підсилення часто приймається, не враховуючи напружений стан згинаного елемента до підсилення, або коригується коефіцієнтами залежно від рівня розвантаження перед підсиленням. Відсутність досліджень не дає можливості точно оцінити несучу здатність вже підсиленого згинаного елемента, його експлуатаційну придатність, відбувається перевитрата матеріалів.

Тому задача дослідження згинаних елементів, в яких додаткова ненапружена арматура встановлюється під діючим навантаженням різного рівня, має практичне і теоретичне значення, є

актуальною, оскільки розв'язання її сприятиме економічній ефективності підсилення залізобетонних конструкцій за рахунок розрахунку міцності і деформацій підсилених елементів з врахуванням передісторії завантаження і залишкового напруженого стану.

Мета, предмет та методика дослідження. Мета експериментальних досліджень – виявити особливості і закономірності розвитку деформацій та впливу на прогини та міцність додатково розтягнутої арматури та перевірити методику розрахунку напруженого стану згинаних елементів, які підсилюються, перебуваючи під навантаженням різного рівня.

Суть експерименту полягає у неперервних замірюваннях деформацій стиснутої і розтягнутої зони, прогинів до і після встановлення додаткової арматури в розтягнутій зоні згинаних елементів, які перебували під короткочасним і тривалим навантаженням різного рівня. При цьому замірювання деформацій виконувались безперервно від завантаження, тривалої дії навантаження (для деяких балок розвантаження) встановлення додаткової арматури, довантаження короткочасним чи тривалим навантаженням і доведених до руйнування. При дослідженнях змінювались параметри: величина початкового і додаткового армування, рівні початкового тривалого навантаження і розвантаження перед встановленням додаткової арматури. Досліджувались також балки-близнюки з армування і рівнях навантаження при короткочасному навантаженні. Сталобетонні ненапружені балки прогоном 2 м, перерізом 0.12×0.24 м із початковою листовою арматурою товщиною $\delta = 2$ і $\delta = 4$ мм та монтажною арматурою в стиснутій зоні із 2Ø6 АІ досліджувались при віці бетону 140 діб, із призмовою міцністю $R_{bn} = 19$ МПа, та початковим модулем пружності $E_b = 29.1 \times 10^3$ МПа. Листова арматура була прийнята для зручнішого кріплення додаткової арматури зварюванням, що забезпечило сумісну роботу листової і додаткової стрижневої арматури [3]. Контроль сил виконувався по двох опорних динамометрах. Деформації стиснутої і розтягнутої зон, а також прогинів, вимірювались за допомогою стаціонарно встановлених індикаторів із ціною поділок 0,01 та 0,001 мм та міток для замірювань компаратором. Детальніше програма і методика досліджень на короткочасні і тривалі навантаження подана в [4].



*Рис. 1. Конструкція балок і схема розміщення приладів:
1 – об'єднуючий стрижень, 2 – мітки для компаратора, 3 – індикатор, 4 – мікроіндикатор,
5 – кільцевий динамометр, —120x2; —120x4 – початкова листовая арматура,
Ø14, Ø12 – додаткова арматура*

Спочатку балки із різним рівнем армування листовою арматурою завантажувались ступенями 0,56 і 0,76 M_p від руйнуючого моменту, розвантажувались або не розвантажувались, встановлювалась додаткова арматура і балки ступенями доводились до руйнування. Різні рівні навантаження і розвантаження перед встановленням додаткової арматури приймалися із умови підсилення згинаних елементів при їх перевантаженні чи необхідності збільшення їх несучої здатності.

Приварювання додаткової арматури і встановлення мікроіндикаторів на неї проводили протягом однієї години, раніше встановлені прилади на навантаженій балці не знімали, фіксуючи деформації при розвантаженні і відпочинку протягом однієї години [4].

Результати теоретичних і експериментальних досліджень. До встановлення додаткового армування напружений стан сталобетонного згинаного елемента визначали в перерізі із тріщиною за методикою зміни № 1 до СНіП 2.03.01-84* [5].

Висота стиснутої зони:

$$x = \varphi_{\xi} (\varphi_s + \varphi_n) h_0. \quad (1)$$

Плеце пари сил при трикутній формі напружень у бетоні стиснутої зони:

$$z = \left(h_0 - \frac{x}{3} \right). \quad (2)$$

Середні напруження та деформації арматури в тріщині визначали

$$\sigma_{sc} = \frac{M \psi_s}{A_s z}; \quad \varepsilon_{sc} = \frac{\sigma_{sc}}{E_{sc}}. \quad (3)$$

При прямокутній епюрі напружень у бетоні стиснутої зони [1] відносну висоту стиснутої зони бетону знаходили із рівняння:

$$\xi^2 + \xi^2 (\varphi_f + \beta) - \beta \varphi = 0. \quad (4)$$

Тривалий характер навантаження для визначення $\xi(t)$ врахований за допомогою коефіцієнтів $\psi_s(t)$, $\nu(t)$, які приймаються за критерієм навантаження і характеристиці повзучості.

При розрахунку міцності елемента із додатковою арматурою встановлено два граничні стани згинаного елемента. Перший – коли в початковій арматурі напруження дорівнюють межі текучості і балка стає непридатною до нормальної експлуатації. Другий – фізичне руйнування балки настає при досягненні в додатковій арматурі напружень межі текучості.

Умова базується на тому, що в сталобетонному згинаному елементі основна і додаткова арматури працюють сумісно і майже на одному рівні, і при досягненні напружень в початковій арматурі межі текучості, в згинаному елементі інтенсивно зростають прогини, збільшується висота тріщин і ширина їх розкриття, елемент стає непридатним для експлуатації.

Умова рівноваги при настанні експлуатаційної непридатності

$$M \leq R_b b x (h_{od} - 0.5 x_d) + R_{sc}' (h_{od} - a'). \quad (5)$$

де h_{od} – робоча висота перерізу визначена із врахуванням площі і положення додаткової арматури.

Висота стиснутої зони із врахуванням додаткової арматури визначається із формули

$$R_s A_s + \sigma_{sd} A_{sd} - R_{sc}' A_s' = R_b b x_d. \quad (6)$$

Отже, для визначення моменту втрати експлуатаційної придатності згинаного елемента, в якому додаткова арматура поставлена при певних напруженнях, необхідно визначити напруження в додатковій арматурі.

Скориставшись умовою про сумісність деформацій основної і додаткової арматури, див рис. 2, а, одержимо

$$\varepsilon_{sd} = \varepsilon_{SR_s} - \varepsilon_{sk}, \quad (7)$$

де ε_{sd} – деформації додаткової арматури при настанні межі текучості основної арматури; ε_{SR_s} – межові деформації початкової арматури при настанні в ній напружень межі текучості; ε_{SK} – деформації початкової арматури при встановленні додаткової арматури.

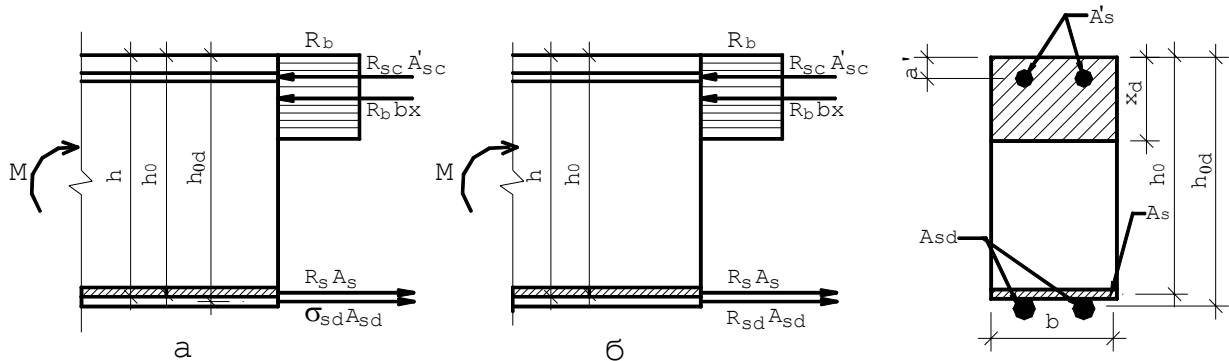


Рис. 2. Схема зусиль і еюра напружень у зоні чистого згину:
а – при настанні експлуатаційної непридатності; б – при фізичному руйнуванні балки

Рівняння (7) запишемо за умови, що початкова і додаткова арматури мають фізичну межу текучості і різні модулі пружності

$$\sigma_{sd} = (R_s - \sigma_s) \frac{E_{sd}}{E_s}, \quad (8)$$

де E_{sd} – модуль пружності додаткової арматури.

Отже, для визначення напружень у додатковій арматурі, при розрахунку міцності нормальних перерізів, для забезпечення експлуатаційної придатності, необхідно визначити напружений стан згинаного елемента перед встановленням додаткової арматури, а для рівняння (8) це значення σ_s .

Після досягнення межі текучості початкової арматури балка не руйнується, а продовжує сприймати зовнішній момент до настання межі текучості додаткової арматури див. рис. 2, б.

Умова міцності при фізичному руйнуванні балки:

$$M \leq R_b bx (h_{od} - 0.5x_d) + R_{sc} A'_s (h_{od} - a'). \quad (9)$$

Висота стиснутої зони при досягненні межі текучості додаткової арматури визначається із формули

$$R_s A_s + R_{sd} A_{sd} - R_{sc} A'_s = R_b bx_d. \quad (10)$$

Отже, момент втрати експлуатаційної придатності і руйнуючий будуть рівними, якщо додаткову арматуру встановлювати в ненавантажений згинаний елемент, тоді напруження в додатковій і початковій арматурі досягатимуть межі текучості одночасно.

Як видно із рівності (8) додаткова арматура використовуватиметься тим ефективніше, чим менші напруження в основній арматурі перед встановленням додаткової. Тому частина балок розвантажувалась повністю або частково перед встановленням додаткової арматури. При розвантаженні згинаний елемент знаходиться під впливом внутрішніх зусиль у складному напруженому стані. Після повного розвантаження, в розтягнутій арматурі, залишаються розтягуючі напруження через неможливе повне закриття тріщин, депланації зон бетону біля країв тріщин та пластичних деформацій розтягнутого бетону між тріщинами. Поверненню розтягнутої арматури в початкове положення перешкоджають також непружні деформації стиснутої зони бетону, внаслідок чого виникає залишковий напружений стан. Розтяг в арматурі повинен врівноважитись стиском бетону біля нейтральної осі, що своєю чергою спричиняє розтяг в крайових волокнах бетону стиснутої зони. Використовуючи дані досліджень, поданих в роботі [2], і також наших, встановлена розрахункова схема і формули для визначення залишкових напружень (деформацій) після повного чи часткового розвантаження.

Після повного розвантаження із моменту "M" залишкові напруження в розтягнутій арматурі визначались

$$\sigma_s^0 = \frac{M(h - \frac{2}{3}x)}{4.5A_s z^2}; \quad \sigma_{s(t)}^0 = \frac{M(t) \left[h - \frac{2}{3}x(t) \right]}{4.5A_s z^2(t)}. \quad (11)$$

При неповних розвантаженнях із моменту "M" до моменту "M_{роз}" залишкові напруження в розтягнутій арматурі визначались

$$\sigma_{sM_{роз}} = (\sigma_{sM} - \sigma_s^0) \times \frac{M_{роз}}{M} + \sigma_s^0; \quad \sigma_{s(t)M_{роз}} = (\sigma_{s(t)M} - \sigma_{s(t)}^0) \times \frac{M_{роз}}{M(t)} + \sigma_{s(t)}^0, \quad (12)$$

де σ_{sM} визначається за виразом (3), а перехід до середніх деформацій виконується через коефіцієнт ψ_s .

Після встановлення додаткової арматури згинаний елемент працює із новим армуванням $A_s + A_{sd}$ і новим приведеними геометричними характеристиками. На основі даних досліджень згинаних елементів на різнорежимні навантаження зміну напружень (деформацій) від додаткових зовнішніх сил можна розглядати як приріст (збільшення) напружень (деформацій) в умовах нового армування та нових геометричних характеристик.

Відповідно напруження та деформації:

$$\sigma_{scd} = \frac{M\psi_{sd}}{z_d(A_s + A_{sd})}; \quad \varepsilon_{sc} = \frac{\sigma_{scd}}{E_{sc}}. \quad (13)$$

Тривалий характер навантаження враховується при визначенні $x_d(t)$, $z_d(t)$ через коефіцієнти $\psi_{sd}(t)$, $\varphi_{b2}(t)$ визначених для нового армування $A_s + A_{sd}$.

Напруження в арматурі в елементі із додатковою арматурою σ_{scd} для моменту " \bar{M} " визначається:

$$\sigma_{scd\bar{M}} = \sigma_{sc_{зал}} + \Delta\sigma_{scd}(\bar{M} - M_{роз}), \quad (14)$$

де $\sigma_{sc_{зал}}$ – залишкові напруження в арматурі до постановки додаткової арматури при повному розвантаженні визначаються за формулою (11), а при неповному розвантаженні – за формулою (12).

Кривизна на будь-якій стадії навантаження до встановлення додаткової арматури згідно з зміною № 1 до СНиП 2.03.01-84* визначається через відносні деформації розтягнутої арматури, а саме:

$$\rho^{-1} = \frac{\varepsilon_{sm}}{h_0 - x} = \frac{M\psi_s}{zA_s E_s (h_0 - x)}. \quad (15)$$

При цьому величини ψ_s , x , z визначаються із врахуванням характеру навантаження (короткочасне, тривале).

Після встановлення додаткового армування визначаються нові геометричні характеристики h_{0d} і величини ψ_{sd} , x_d , z_d з армування $A_s + A_{sd}$, а приріст кривизни елемента із додатковою арматурою $\Delta\rho_d^{-1}$ визначається

$$\Delta\rho_d^{-1} = \frac{M\psi_{sd}}{z_d(A_s E_s + A_{sd} E_{sd})(h_{0d} - x_d)}. \quad (16)$$

Повна кривизна елемента для моменту " \bar{M} " із додатковою арматурою $\rho_{d\bar{M}}^{-1}$, визначається як сума кривизни до встановлення додаткової арматури при моменті "M" ρ_M^{-1} , в тому числі і залишкової кривизни після розвантаження $\rho_{зал}^{-1}$ і приросту кривизни для елемента із новим армуванням $\Delta\rho_d^{-1}$ по $A_s + A_{sd}$, тобто:

$$\rho_{d\bar{M}}^{-1} = \rho_M^{-1} + \rho_{d(\bar{M}-M)}^{-1}, \quad \rho_{d\bar{M}}^{-1} = \rho_{зал}^{-1} + \rho_{d(\bar{M}-M)}^{-1}. \quad (17)$$

До встановлення додаткової арматури із рис. 3 видно, що теоретичні значення середніх напружень арматури менші від експериментальних у балках другої групи до 8.6 % , а в мало-армованих балках другої групи (Б-1, Б-2) теоретичні значення більші на 8.6–20 %, що пояснюється не врахованою, в теоретичних значеннях напружень, роботою бетону над тріщиною, яка в мало армованих елементах є більш суттєвою. При тривалій дії навантаження ця різниця становить всього 8.6 % (Б-1, Б-2), що свідчить про виключення з роботи бетону над тріщиною. Така закономірність спостерігається і при збільшенні критерію навантаження, що також зменшує значення розтягнутого бетону над тріщиною (див. таблицю).

**Порівняння теоретичних і експериментальних величин моментів,
прогинів та деформацій початкової та додаткової арматур**

Назва величин	Умовні позначення	І група балок $\mu = 0.0084$, $\mu = 0.0108$			ІІ група балок $\mu = 0.0169$, $\mu = 0.008$					
		Номери балок								
		Бк-1	Б-1	Б-2	Бк-2	Бк-3	Б-3	Б-4	Б-5	Б-6
		Рівень завантаження			Рівень завантаження					
		Рівень розвантаження			Рівень розвантаження					
		$\frac{0.56}{0.31}$	$\frac{0.56}{0.31}$	$\frac{0.56}{0}$	$\frac{0.76}{0.76}$	$\frac{0.76}{0.31}$	$\frac{0.56}{0}$	$\frac{0.56}{0.31}$	$\frac{0.76}{0.31}$	$\frac{0.76}{0.76}$
Моменти, Нхм										
Момент втрати експлуат. придатн.	$\frac{M_{ек.пр}^e}{M_{ек.пр}^m}$	$\frac{310.3}{292.2}$	$\frac{313.6}{286.6}$	$\frac{346.3}{324.4}$	$\frac{343.0}{358.9}$	$\frac{392.0}{403.3}$	$\frac{411.6}{435.5}$	$\frac{398.5}{407.7}$	$\frac{392.0}{401.8}$	$\frac{346.2}{347.0}$
Руйнуючий момент	$\frac{M_{ек.пр}^e}{M_{ек.пр}^m}$	$\frac{365.8}{377.4}$	$\frac{378.9}{377.4}$	$\frac{385.5}{377.4}$	$\frac{428.5}{455.8}$	$\frac{469.5}{455.8}$	$\frac{487.8}{455.8}$	$\frac{465.0}{455.8}$	$\frac{478.6}{455.8}$	$\frac{446.7}{455.8}$
Прогини, мм										
при завантаженні	$\frac{f^e}{f^m}$	$\frac{2.55}{2.6}$	$\frac{2.4}{2.6}$	$\frac{2.4}{2.6}$	$\frac{5.9}{5.96}$	$\frac{6.0}{5.96}$	$\frac{4.10}{5.96}$	$\frac{4.10}{4.06}$	$\frac{6.0}{5.96}$	$\frac{6.0}{5.96}$
при тривал. навантаж.	$\frac{f^e(t)}{f^m(t)}$	–	$\frac{3.2}{3.27}$	$\frac{3.2}{3.27}$	–	–	$\frac{5.2}{5.2}$	$\frac{5.3}{5.2}$	$\frac{7.8}{7.31}$	$\frac{7.8}{7.31}$
залишок при розвантаж.	$\frac{f_{роз}^e}{f_{роз}^m}$	$\frac{1.6}{1.64}$	$\frac{2.4}{1.9}$	$\frac{1.1}{0.95}$	$\frac{5.4}{5.96}$	$\frac{3.4}{3.15}$	$\frac{1.19}{1.0}$	$\frac{3.1}{3.2}$	$\frac{4.2}{3.7}$	$\frac{7.8}{7.31}$
при текуч початк. арматури	$\frac{f_{ек.пр}^e}{f_{ек.пр}^m}$	$\frac{7.5}{7.4}$	$\frac{8.5}{8.6}$	$\frac{8.4}{8.3}$	$\frac{8.7}{8.3}$	$\frac{8.78}{8.0}$	$\frac{8.0}{7.7}$	$\frac{9.1}{9.0}$	$\frac{9.6}{10.0}$	$\frac{9.8}{9.6}$
при руйн. моменті.	$\frac{f_p^e}{f_p^m}$	$\frac{10.4}{8.2}$	$\frac{11.2}{9.1}$	$\frac{10.8}{8.1}$	$\frac{12.8}{11.2}$	$\frac{10.75}{8.8}$	$\frac{9.9}{8.9}$	$\frac{11.3}{9.7}$	$\frac{11.7}{10.5}$	$\frac{13.8}{12.1}$
Середні деформації арматури $1 \cdot 10^{-5}$ при моменті експлуатаційної придатності										
початкова	$\frac{\varepsilon_{ас}^{екс}}{\varepsilon_{ас}^m}$	$\frac{152.7}{140}$	$\frac{151.5}{140}$	$\frac{147.0}{140}$	$\frac{155.0}{154.1}$	$\frac{156.0}{154.1}$	$\frac{161.0}{154.1}$	$\frac{160.0}{154.1}$	$\frac{160.0}{154.1}$	$\frac{158.7}{154.1}$
додаткова	$\frac{\varepsilon_{асд}^{екс}}{\varepsilon_{асд}^m}$	$\frac{106.3}{102.6}$	$\frac{103.5}{98.7}$	$\frac{130.0}{133.5}$	$\frac{25.0}{35.7}$	$\frac{98.0}{101.4}$	$\frac{151.0}{153.2}$	$\frac{110.0}{105.3}$	$\frac{88.0}{97.5}$	$\frac{26.7}{28.3}$

Б-2

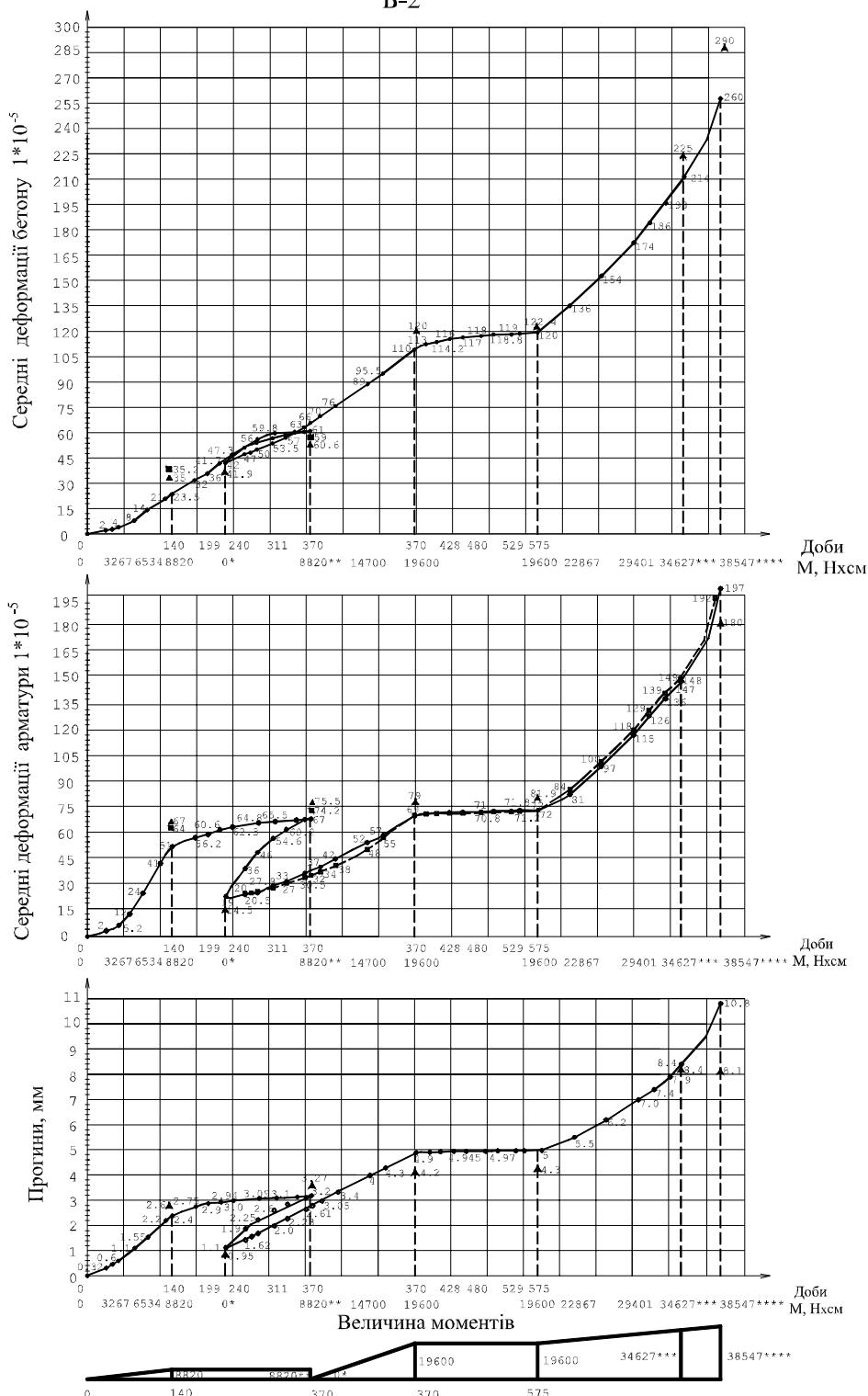


Рис. 3. Експериментальні і теоретичні значення середніх крайових деформацій бетону ε_{bm} арматури ε_{sm} та прогинів балки Б-2, $\mu = 0,0084$, $\mu_d = 0,0104$ при тривалому навантаженні:

- Деформації від навантаження —●— Часові деформації - - - - - Додаткова арматура
- * Момент (розвантаження) встановлення додаткової арматури $k = \frac{M}{M_p} = 0$
- ** Момент завантаження $k = \frac{M}{M_p} = 0.56$
- *** Момент текучості початкової арматури **** Руйнуючий момент по $(A_s + A_{sc})$
- ▲ Теоретичні значення при x зміню ■ Теоретичні значення при ξ з рівняння 3.4
- №1 до СНиП 2.03.01-84*

Експериментально підтверджено, що залишкові напруження в арматурі при повних розвантаженнях залежать від величини армування та критерію навантаження, з якого проводиться розвантаження. Більший критерій завантаження до розвантаження сприяє розвитку пластичних деформацій в стиснутому і розтягнутому бетоні, які стримують повернення арматури до початкового положення. При однаковому коефіцієнті армування залишкові напруження більші в балках, в яких критерій завантаження, з якого виконується розвантаження, є більший (Б-5, Б-6). Це пояснюється тим, що при більшому армуванні і більшому критерію навантаження, збільшилась висота тріщин і їх ширина розкриття і навіть їх кількість, відбувається більша депланація перерізів біля тріщин, що стримує зворотні деформації арматури при розвантаженнях. Одержані нами експериментальні дані, добре погоджуються із результатами спеціальних досліджень згинаних елементів при розвантаженнях [3].

Як видно із таблиці найбільший момент втрати експлуатаційної придатності та жорсткості мають ті елементи, в яких додаткова арматура встановлювалась при повному його розвантаженні, бо в цьому випадку діапазон сумісної роботи початкової і додаткової арматур найдовший (Б-2, Б-3). Часткові розвантаження елементів, перед встановленням додаткової арматури (Б-1, Б-4, Б-5) також збільшують момент втрати експлуатаційної придатності елементів порівняно із тими, в яких додаткова арматура встановлювалась без їх розвантаження. Найменший момент втрати експлуатаційної придатності мають балки, в яких додаткова арматура встановлювалась без їх розвантаження, при більших критеріях навантаження, бо в цьому випадку діапазон сумісної роботи арматур до стадії руйнування найменший (Б-6). Вказані вище особливості за експериментальними значеннями моменту втрати експлуатаційної придатності балок стосуються обох груп балок, в яких різне співвідношення початкової і додаткової арматур.

Дані експериментальних досліджень свідчать, що прогини елементів із додатковою арматурою суттєво залежать від залишкових прогинів, при яких встановлена додаткова арматура. Чим менший рівень напруженого стану (прогинів) в елементі до встановлення додаткової арматури, тим ефективніше використовується додаткова арматура і зростає жорсткість елемента на більшому діапазоні навантаження. Із рис. 3 видно, що прогини згинаних елементів, після встановлення додаткового армування, розвиваються так, як в елементах із більшим процентом армування. Прогини при тривалому навантаженні після встановлення додаткового армування визначали на основі величин, які залежать від тривалості навантаження і характеристики повзучості бетону, тобто $\psi_{sca}(t)$, $\varphi_{b2}(t)$ і величин h_{0d} , $z_d(t)$, $x_d(t)$. Порівняння теоретичних і експериментальних величин прогинів свідчать про прийнятність методики автора визначення прогинів згинаних елементів із додатковою арматурою, встановленою при різних рівнях напруженого стану та після розвантажень.

Характер руйнування балок із додатковою арматурою пластичний, і не тільки тому що $\xi < \xi_R$ при $(A_s + A_{sd})$, а тому, що по досягненні напружень текучості в початковій арматурі наступає момент втрати експлуатаційної придатності, момент зовнішніх сил ніби перекладається на додаткову арматуру, балка продовжує сприймати деяке збільшення моменту. Але при цьому інтенсивно зростають деформації стиснутої і розтягнутої зон та прогини, аж до межі міцності основної арматури. Отже, при сумісній роботі основної і додаткової арматури, поставленої в елемент при певному напруженому стані, додаткова арматура використовується до межі текучості початкової арматури. Фізичне руйнування балки відбувається при текучості додаткової арматури.

Висновки. 1. Момент втрати експлуатаційної придатності згинаного елемента із додатковою арматурою, поставленою при певному напруженому стані елемента, можна визначати за СНІП 2.03.01-84* методом граничного стану, а напруження в додатковій арматурі в стадії руйнування визначаються залежно від залишкових напружень в основній арматурі до встановлення додаткової.

2. Руйнуючий момент згинаного елемента із додатковою арматурою можна визначати за СНІП 2.03.01-84* методом граничного стану.

3. Дослідженнями встановлено, що при сумісній роботі основної і додаткової арматури, встановленої на згинаний елемент у напруженому стані, визначальним для збільшення моменту втрати експлуатаційної придатності, жорсткості згинаного елемента і ефективності використання додаткової арматури є залишковий напружений стан перед встановленням додаткової арматури. Тому максимальне розвантаження згинаних елементів перед встановленням додаткової арматури є позитивним для збільшення жорсткості і моменту втрати експлуатаційної придатності.

4. Деформації арматури, прогини згинаних елементів із додатковою арматурою рекомендується визначати як суму залишкових деформацій арматури, прогинів, набутих до встановлення додаткової арматури, і деформацій та прогинів, отриманих елементом після встановлення додаткової арматури для елемента із новими геометричними характеристиками по ($A_s + A_{sd}$).

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. – М.: Стройиздат, 1991. – С. 218–223. 2. Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Исследование деформаций железобетонных балочных плит на ветвях разгрузки // Прочностные и деформационные характеристики элементов бетонных и железобетонных конструкций. НИИЖБ, Госстроя СССР. – М., 1981. – С. 106–127. 3. Клименко Ф.Є. Сталебетонні конструкції із зовнішнім полосовим армуванням. – К.: Будівельник, 1984. – С. 3–20. 4. Крамарчук А.П. “Деформативність та міцність згинальних елементів під дією довготривалих навантажень із зміненним армуванням” // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2002. – С. 26–30. 5. Климов Ю.А., Голишев А.Б. Изменение № 1 к СНиП 2.03.01-84* “Бетонные и железобетонные конструкции” // Будівництво України. – 1996. – № 3. – С. 44–47. 6. Ремонт і підсилення несучих та огорожуючих будівельних конструкцій і основ промислових будинків і споруд. ДБН В.1.-1-2002. Держкомітет України з будівництва і архітектури. – К., 2003. – С. 1–22.

УДК 624.012

Ф.Є. Клименко, Б.М. Ільницький, М.Е. Волинець
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК БЕЗ ЗЧЕПЛЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ

© Клименко Ф.Є., Ільницький Б.М., Волинець М.Е., 2004

Відсутня методика розрахунку сталебетонних балок без зчеплення зовнішньої стрічкової арматури з бетоном в існуючих нормативних документах. Розроблена програма розрахунку за методом скінчених елементів та послідовних наближень з врахуванням реальних діаграм деформування “ σ - ε ” матеріалів.

The computer design procedures that are based on integration of finite-element method with method of successive approximations with regard to a real deformation curves of material are developed. The operative normative documents do not stipulate the methodology of calculation not of steel concrete beams without cohesion of the outer sheet reinforcement with concrete.

Вступ. Дослідження сталебетонних конструкцій без зчеплення зовнішньої арматури з бетоном показали, що розрахунок за методиками відомих існуючих норм [4] задовільно забезпечує збіг величини міцності, деформативності, тріщиностійкості з експериментальними даними. Але ці методики не надають повної інформації про напружено-деформований стан конструкцій, в яких використовується зовнішня стрічкова арматура без зчеплення з бетоном на різних стадіях роботи, вони не завжди точно відображають фізичну суть процесів, які там відбуваються.