

УДК 624.012.191.33

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ОПОРУ ЗАЛІЗОБЕТОНУ В ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗАХ ЗГІНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ НАВАНТАЖЕННЯ

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЯХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ

CONSTRUCTION OF PHYSICAL MODEL OF RESISTANCE OF THE REINFORCED CONCRETE IN THE SLOPING SECTIONS OF THE BENT ELEMENTS AT THE DIFFERENT MODES OF LADENING

Масюк Г.Х., к.т.н., проф. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Масюк Г.Х., к.т.н., проф. (Национальный университет водного хозяйства и природоиспользования, г. Ровно)

Masjuk G.Ch. candidate of technical sciences, professor (National university of water management and nature resources use, Rivne)

Розглянута, за результатами експериментальних досліджень, основа побудови фізичної моделі деформування бетону, поперечної і поздовжньої арматури в похилих перерізах згинальних елементів за різних режимів навантаження

Рассмотрена, по результатам экспериментальных исследований, основа построения физической модели деформирования бетона, поперечной и продольной арматуры в наклонных сечениях изгибаемых элементов при разных режимах нагружения

Basis of construction of physical model of deformation of concrete is considered, on results experimental researches, transversal and longitudinal armature in the sloping sections of the bent elements at the different modes of lading

Ключові слова:

Бетон, арматура, залізобетон, деформація, зріз

Бетон, арматура, железобетон, деформация, срез

Concrete, armature, reinforced concrete, deformation, shear

Вступ. При оцінюванні простих і складних напружених станів твердих тіл (тобто при їхньому згинанні, позацентровому стиску й розтягу, крутінні, згинанні з крутінням, крутінні у поєднанні зі стиском і розтягом, плоскому та об'ємному напружених станах та ін.) за вихідні міцнісні, деформативні характеристики складаючи тіло матеріалів приймають характеристики, визначувані експериментальним шляхом при найпростіших навантажуваннях – одноразовому статичному центральному стиску й розтягу. Одержані характеристики одночасно є параметрами відповідних діаграм деформування, що фіксують зв'язок між напруженнями σ і відносними деформаціями ε , математичне описання якого у вигляді $\sigma = f(\varepsilon)$ являє собою один з основних законів у класичній механіці деформованих тіл.

В основу нових вітчизняних норм з проектування бетонних і залізобетонних конструкцій [1, 2] покладена так звана «деформаційна модель» роботи бетону. По аналогії з Євронормами [3] вона ґрунтується на використанні у розрахунках конструкцій повних діаграм деформування стиснутого бетону. Базовими для залежностей $\sigma_c = f(\varepsilon_c)$ прийняті неправильна дробова-раціональна функція та поліном п'ятого степеню. Як за одною так і за другою функціями величина граничних деформацій стиснутого бетону обмежується фіксованими величинами, наведеними у відповідних таблицях.

Усе вищезазначене повною мірою відноситься до бетону й залізобетону. Саме тому аналітичне побудування функціональної залежності між напруженнями σ_b і відносними деформаціями ε_b у бетоні, що базувалася б на зрозумілих і точних фізичних уявленнях, розглядають як ключову проблему, яка дозволяє пояснювати та ув'язувати в єдине ціле накопичені поколіннями дослідників численні і, здебільшого, унікальні експериментальні й теоретичні результати, осмислювати та якісно провіщати специфічні явища механіки деформованих бетону й залізобетону, оцінювати різні існуючі теорії та орієнтуватись при виборі напрямів формування більш прогресивних поглядів, відкривати нові можливості в практиці інженерних розрахунків.

Незважаючи на значну кількість досліджень деформувань бетону і арматури в залізобетонних конструкціях при різних видах навантажень, робота залізобетонних елементів за дії малоциклових, втім числі і знакозмінних навантажень, а також напружено-деформований стан нормальних і похилих перерізів таких елементів, його зміна при різних режимах завантажень вивчені не достатньо.

Мета і задачі досліджень: побудувати фізичну модель і проаналізувати міру впливу малоциклових знакозмінних навантажень на зміну деформаційних характеристик бетону, поперечної і поздовжньої арматури в похилих перерізах згинальних залізобетонних елементів при різних прольотах «зрізу» та різних рівнях завантажень.

Результати експериментів у вигляді основних параметрів, які характеризують напружено-деформований стан зони сумісної дії згинального моменту і поперечної сили, а також методика випробувань наведені в роботі [4]. Співставлений аналіз цих даних дозволяє відмітити наступне: при однозначному статичному навантаженні головні деформації бетону над похилою тріщиною перед руйнуванням досягли значних величин і приблизно відповідали граничній деформативності бетону при одноосному стиску.

В бетоні над похилою тріщиною мали місце значні пластичні деформації по напрямку осі y .

Типова картина розподілу граничних деформацій укорочення бетону по висоті перерізу I-I показана на рис. 1.

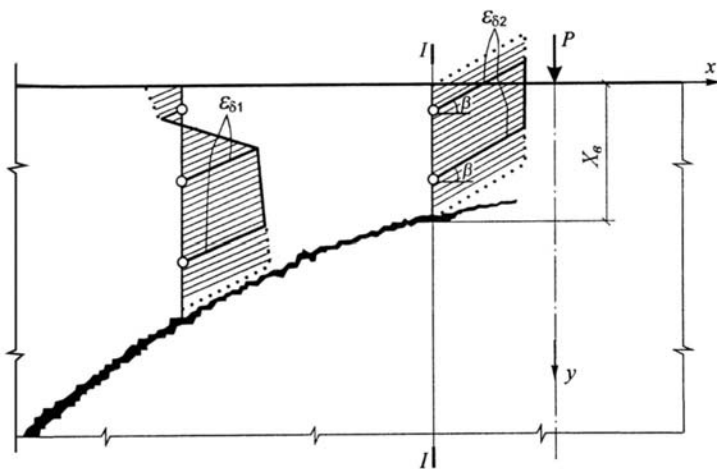


Рис. 1. Типова картина головних деформацій укорочення бетону поблизу перерізу I-I над похилою тріщиною

Отримані в результаті обробки показників тензорезисторів величини кутів ухилу траєкторій головних деформацій укорочення в межах висоти перерізу над похилою тріщиною практично постійні.

Напруження в поперечній арматурі в місці перетину її похилою тріщиною перед руйнуванням зразка досягли, як правило, межі текучості.

При прольотах «зрізу» $a/h \approx 2$ ($a = 300 \text{ мм}$) спостерігалось роздавлювання бетону стиснутої зони. При збільшенні прольотів «зрізу» до $a/h \approx 3$ ($a = 450 \text{ мм}$) і $a/h \approx 4$ ($a = 600 \text{ мм}$) руйнування відбувалось від роздаловання з виколуванням або від виколування бетону стиснутої зони.

Співставляючи схеми тріщиноутворення і руйнування дослідних зразків при однозначному статичному навантаженні можна констатувати, що із збільшенням прольоту «зрізу» числові значення проекції небезпечної похилої тріщини S спочатку збільшуються до величини, рівній, приблизно $3h_0$. Із зменшенням прольоту «зрізу» деформації бетону на ділянках похилих перерізів збільшуються при однакових рівнях завантаження (рис. 2).

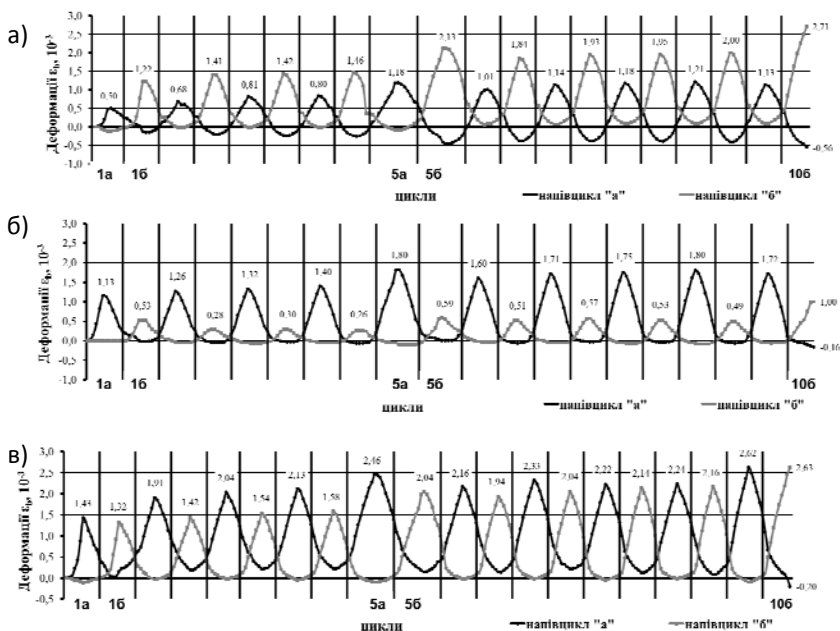


Рис. 2. Графіки деформацій бетону в похилих перерізах по циклах в балках з різними прольотами «зрізу»: БЗНЦВ4-6/0,65 (а), БЗНЦВ4-4,5/0,65 (б), БЗНЦВ4-3/0,65 (в)

Із графіків (рис. 2) видно, що в балках БЗНЦВ4-6/0,65 з прольотом «зрізу» $a = 600\text{мм}$ сумарні деформації розтягу бетону в напівциклах «б» більші за деформації в напівциклі «а» в 2,4 рази (рис. 2, а), а для балок з прольотами «зрізу» $a = 450\text{мм}$ і $a = 300\text{мм}$ навпаки – деформації в напівциклі «а» більші за деформації в напівциклі «б» відповідно в 2,1 та 1,1 рази (рис. 2, б і рис. 2, в).

Як уже відомо за дослідженням багатьох вчених [5, 6 і ін.] поперечна арматура деформується не рівномірно. В місцях перетину її з похилими тріщинами має місце значне збільшення деформацій. Типова картина деформування поперечного стержня в бетонній матриці і епюри деформацій наведена на рис. 3 і в роботі [7].

За дії знакозмінних мало циклових навантажень характер деформувань поперечної арматури подібний до характеру деформувань при однозначних завантаженнях. Але в кількісному значенні суттєво відрізняється. Слід відмітити і той факт, що деформації поперечної арматури не залежно від прольоту «зрізу» мають подібний характер: в напівциклі «б» деформації завжди більші за відповідні деформації в напівциклі «а» (рис. 4).

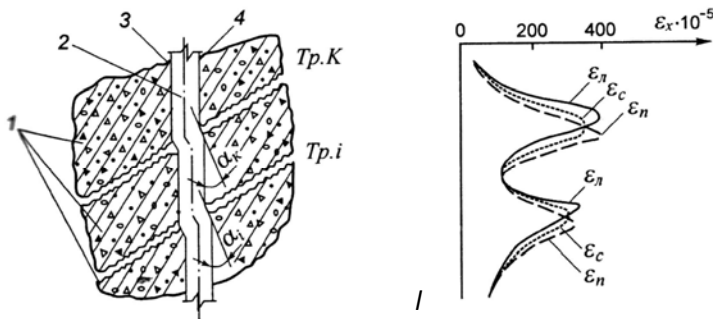


Рис. 3. Типова картина деформування поперечного стержня:

1 – бетонна матриця; 2 – поперечний стержень; 3 і 4 – відповідно ліве і праве волокно стержня; ϵ_L , ϵ_n , ϵ_c - відповідно деформації лівого, правого і середнього волокон стержня; α - кут нахилу вісі стержня в місцях перетину з похилою тріщиною

Проте найбільше збільшення деформацій поперечної арматури при зміні знаку зусиль спостерігається при прольоті «зрізу» $a = 450\text{мм}$ (балка БЗНЦВ4-4,5/0,65), а саме – в 3,9 рази на першому циклі. В той же час при прольоті «зрізу» $a = 300\text{мм}$ (балка БЗНЦВ4-3/0,65) – в 2 рази, а при прольоті $a = 600\text{мм}$ (балка БЗНЦВ4-6/0,65) – в 1,25 рази. Збільшення деформацій поперечної арматури при зміні знаку прикладання навантаження (тобто в

напівциклі «б») можна пояснити деструктивними процесами, які відбуваються в похилому перерізі, а саме: розуцільнення бетону, внаслідок чого проходить втрата щеплення з арматурою, і як наслідок – більша частина поперечної сили сприймається хомутиами, а не бетоном.

Природа згину поздовжньої арматури більш складніша ніж поперечної. Згин поперечної арматури викликається утворенням тріщин (рис. 3). При цьому тиск бетонної матриці з боку лівих і правих волокон стержня майже однаковий. В поздовжній арматурі бетонна матриця чинить опір лише зі сторони верхніх волокон стержня.

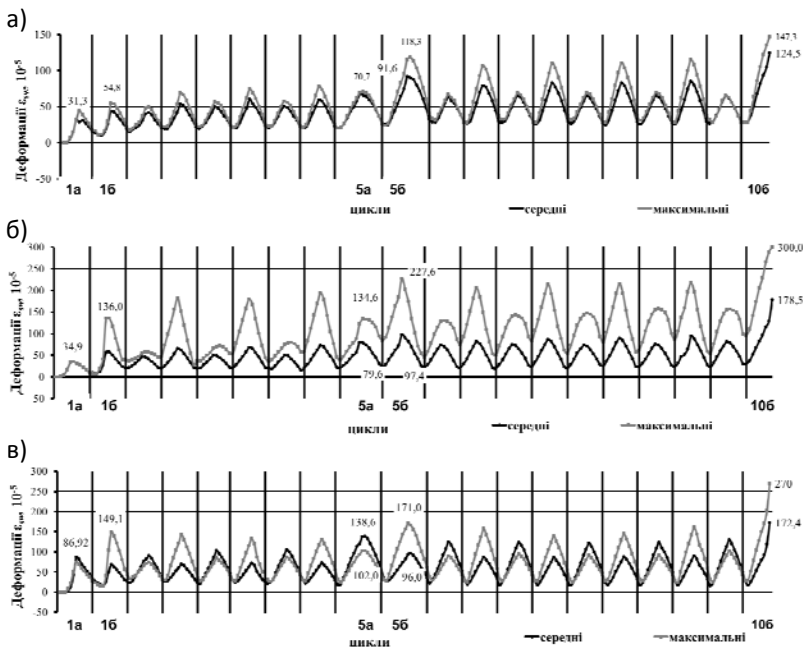


Рис. 4. Графіки деформацій поперечної арматури по циклах в балках з різними прольотами зрізу: БЗНЦВ4-6/0,65 (а), БЗНЦВ4-4,5/0,65 (б), БЗНЦВ4-3/0,65 (в)

Як сказано в роботі [8], із збільшенням навантаження, на графіку деформування поздовжньої арматури точка максимальних деформацій верхніх волокон, точка максимальних деформацій нижніх волокон і точка перетину кривих деформацій верхніх і нижніх волокон зближуються (рис. 5).

За дії малоциклових знакозмінних навантажень в дослідних зразках деформації поздовжньої арматури в напівциклах «б» при прольотах «зрізу» $a = 600 \text{ мм}$ і $a = 450 \text{ мм}$, більші за аналогічні деформації в напівциклах «а» в

1,03...1,2 рази. Що стосується деформацій поздовжньої арматури в балках при прольоті «зрізу» $a = 300 \text{ мм}$, то вони в напівциклах «а» і «б» майже однакові (рис. 6).

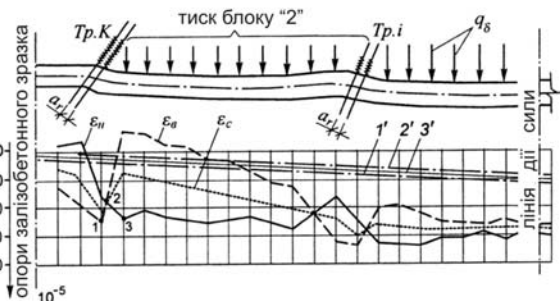


Рис. 5. Типова картина деформування поздовжнього стержня при однозначному навантаженні: 1', 2', 3' – відповідно деформації верхніх нижніх і середніх волокон на початкових ступенях навантаження; ϵ_σ , ϵ_n , ϵ_c - теж саме, на ступені завантаження перед руйнуванням

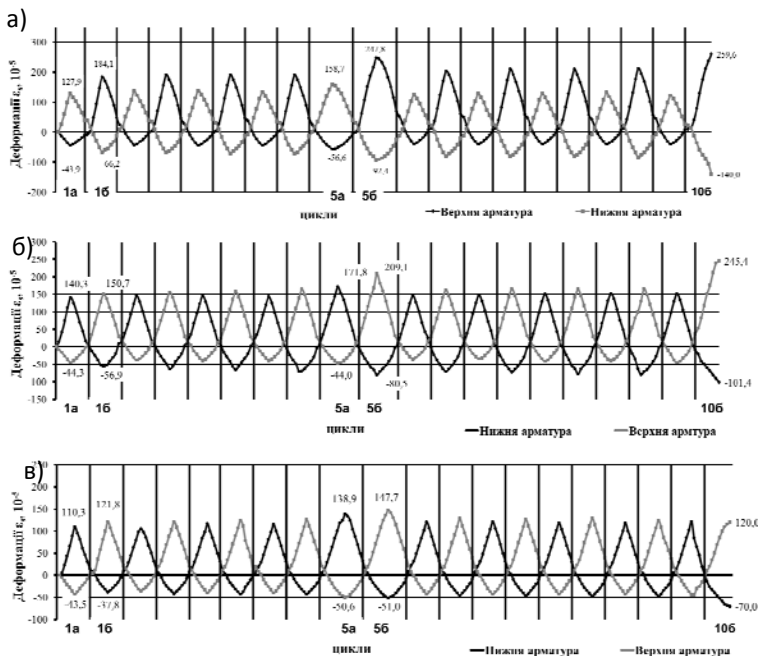


Рис. 6. Графіки деформацій поздовжньої арматури по циклах в балках з різними прольотами зрізу: БЗНЦВ4-6/0,65 (а), БЗНЦВ4-4,5/0,65 (б), БЗНЦВ4-3/0,65 (в)

Висновки: 1. В основу побудови фізичної моделі опору залізобетону покладені експериментальні дослідження автора і накопичений банк дослідних даних.

2. Структурні зміни в бетоні задовільно відображає його діаграма стану ($\sigma_i - \varepsilon_i$) з нисхідною віткою деформування. Аналіз показує, що до верхньої межі мікро-тріщиноутворення бетон моделюється ізотропним середовищем, після цієї межі – його необхідно розглядати як несуче тіло.

3. На основі проведених досліджень і їх аналізу виявлена багаторівнева схема тріщиноутворення, згідно якої тріщини утворюються на всьому діапазоні навантаження до руйнування. Ефект стиснутого бетону в розтягнутій зоні залізобетонного елемента проявляється в околицях тріщин.

4. При менших прольотах «зрізу» деформації бетону і поперечних стержнів в похилих перерізах розвиваються інтенсивніше ніж деформації поздовжньої арматури.

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України: ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинні від 01.06.11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. 2. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування / Мінрегіонбуд України: ДСТУ Б В.2.6.-156: 2010 – [Чинний від 01.06.11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України). 3. Eurocode-2: Design of Concrete Structures. – Part 1-1: General Rules and Rules for Building: EN 1992-1-1. – [Final Draft, December, 2004]. – Brussels: CEN. – 2004. – 225 p. – (Європейський стандарт). 4. Корнійчук О.І. Міцність та тріщиностійкість похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів при дії мало циклових знакозмінних навантажень.: Дис. канд. техн. наук. – Рівне, 2009. – 191 с. 5. Гусаков В.Н., Фортученко Ю.А. Исследование деформированного состояния поперечной арматуры в конструкциях из тяжелого бетона. / Сб. науч. трудов. – ВНИИСТРОм, 1966. - №8. – с. 171-207. 6. Залесов А.С. Новый метод расчета прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям. В кн.: Расчет и конструирование железобетонных конструкций вып. 39. – М., 1977. – с.16-28. 7. Колчунов В.И. Прочность изгибаемых элементов по наклонным сечениям: Дис. канд. техн. наук. – Киев, 1983. – 267 с. 8. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. – М.: изд. АВС, - 2004. – 472 с. 9. Дорофеев В.С. Расчет изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона: Монография / В.С. Дорофеев, В.Ю. Барданов. – Одесса: ОГАСА, 2003. – 210 с. 10. Митрофанов В.П. Прочность бетона над опасной наклонной трещиной и несущая способность железобетонных балок // Бетон и железобетон. – 1980. - № 2. с. 37-40.