

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ

© Ромашко В.М., 2013

У межах загальної теорії деформування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій сформовано розрахункову модель утворення нормальних тріщин. Запропоновано методику визначення їх кроку та ширини розкриття залежно від напружено-деформованого стану.

Ключові слова: деформування, кривизна, тріщини, відстань, розкриття, модель.

In an article the calculation model of normal cracks formation is formed in the general theory of concrete and reinforced concrete elements and structures deformation. The method of determining of their step and the disclosure width depending on the stress-strain state is offered.

Key words: deformation, curvature, cracks, distance, disclosure, model.

Вступ

Питання утворення і розвитку нормальних тріщин у залізобетонних елементах та конструкціях розглядають роботи Мурашева В.І. [1], Берга О.Я. [2], Оатула О.О. [3], Федоренка М.М. [4], Немировського Я.М. [5], Портера Е.Г. [6], Молодченка Г.А. [7], Хакімова Ш.А. [8], Карпенка М.І. [9], Холмянського М.М. [10], Городецького Л.М. [11], Гатгаса А.Ф. [12], Колчунова В.І. [13] та інших. Завдяки результатам їхніх досліджень встановлено, що основні параметри утворення, розвитку та розкриття нормальних тріщин:

- є залежними як від різниці зусиль в арматурі у перерізах з тріщинами і без них, так і від зусиль активного зчеплення арматури з бетоном на вказаних ділянках [1];
- пов'язані з діаметром арматурних стрижнів та площею розтягнутого бетону, обмеженого зовнішнім контуром перерізу та величиною радіуса «активної взаємодії» [2];
- пропорційні до товщини захисного шару бетону та відношення площі розтягнутого бетону (в зоні зчеплення) до периметра арматури [12];
- у певний спосіб залежать не тільки від величини граничних деформацій розтягнутого бетону, але й усереднених деформацій бетону та арматури у блоці між тріщинами [5];
- загалом пов'язані з усередненими значеннями граничних напружень зчеплення арматури з бетоном, які, своєю чергою, залежать від напружень у самій арматурі [7].

Переважній більшості запропонованих сьогодні аналітичних залежностей, пов'язаних з процесами тріщиностійкості залізобетонних елементів і конструкцій, властива переобтяженість емпіричними параметрами та коефіцієнтами. Тому поява робіт [14–16], автори яких хочуть позбутися зазначеного недоліку, є цілком логічною та виправданою. Та все ж і їхні рішення теж мають обмежене застосування, оскільки у своїй основі прив'язані до конкретного виду напружено-деформованого стану залізобетонного елемента. Крім того, через надто вільне трактування багатьох гіпотез та простих неточностей, пов'язаних з усередненими значеннями граничних напружень зчеплення арматури з бетоном [16], вони не можуть претендувати на універсальність.

Виклад основного матеріалу

Поглиблений аналіз результатів досліджень згаданих вітчизняних та зарубіжних учених показує, що в теорії тріщиностійкості залізобетонних елементів і конструкцій одними із основних є питання:

- механізму утворення (появи) першої тріщини;

- послідовності утворення та розвитку подальших тріщин;
- розвитку та розкриття найнебезпечніших тріщин.

Оцінюючи загальний напружено-деформований стан згинального залізобетонного елемента за рівняннями його рівноваги

$$N_c = N_{ct} + N_s; \quad (1)$$

$$M = M_c + M_{ct} + M_s, \quad (2)$$

нескладно зауважити (рис. 1), що в момент появи першої тріщини внутрішні зусилля у розтягнутому бетоні N_{ct} та M_{ct} досягатимуть граничних значень за максимальної висоти нерозтрісканого бетону та граничних деформацій у крайових фібрах розтягнутої зони. А раз так, то момент появи тріщин у бетонному або залізобетонному елементі M_{cr} необхідно обчислювати за критерієм $dN_{ct} / d\varepsilon_{ct} = 0$.

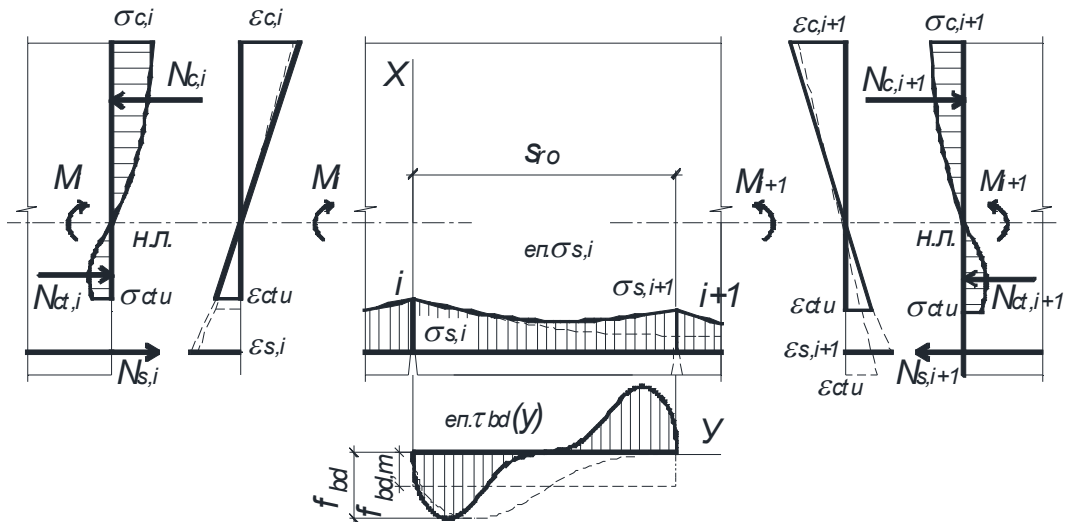


Рис. 1. Розрахункова схема напружено-деформованого стану згинального залізобетонного елемента в блоці між двома тріщинами

За епюри напружень у розтягнутому бетоні у вигляді неправильної дробово-раціональної функції, закладеної в багатьох національних нормах [17–19] для стисненого бетону, зусилля у бетоні розтягнутої зони можна обчислювати за такою залежністю [20]:

$$N_{ct} = \frac{b_n}{I/\rho} \int_{-\varepsilon_{ctu}}^0 \frac{a_t \cdot \varepsilon_{ct} - b_t \cdot \varepsilon_{ct}^2}{1 + c_t \cdot \varepsilon_{ct}} d\varepsilon_{ct} \quad (3)$$

з основними міцнісними та деформативними параметрами розтягнутого бетону:

$$a_t = E_{co}; \quad b_t = f_{ctk}/\varepsilon_{ct1}^2; \quad c_t = E_{co}/f_{ctk} - 2/\varepsilon_{ct1}, \quad (4)$$

де E_{co} – початковий модуль пружності (деформацій) бетону за нульових напружень;

f_{ctk} – характеристичне значення міцності розтягнутого бетону;

ε_{ct1} – критичні деформації розтягнутого бетону.

Точний аналітичний розв’язок трансцендентної функції, отриманої під час диференціювання інтегрального рівняння (3), знайти неможливо. Однак за використання методів числового аналізу його можна з доволі високою точністю ($R^2=0,99801$) подати такою залежністю:

$$\eta_{ctu} = \varepsilon_{ctu} / \varepsilon_{ct1} = 1 + \frac{0,42 \cdot \sqrt{k_t \cdot \ln k_t}}{1 + ((k_t - 2) / 6 \cdot \ln(6 / k_t))^2}, \quad (5)$$

де k_t – коефіцієнт пружно-пластичних властивостей розтягнутого бетону, що дорівнює $k_t = E_{co} \cdot \varepsilon_{ct1} / f_{ctk}$ [20].

Варто відзначити, що граничні деформації розтягнутого бетону в залізобетонному елементі на момент появи першої тріщини загалом можна визначити і за спрощеним виразом:

$$\varepsilon_{ctu} = 2f_{ctk} / E_{co} \quad (6)$$

Щодо утворення подальших тріщин, то закономірності їхньої появи та розвитку доцільно пов'язувати з основними параметрами бетону і арматури у розтягненій зоні залізобетонного елемента. Відповідно до результатів досліджень Берга О.Я. [2], серед подібних параметрів насамперед варто назвати діаметр арматурних стрижнів та площу розтягнутого бетону. За таких обставин зусилля активного зчеплення на ділянці між тріщинами $N_{bd,cr}$, будучи залежними від зміни напружень в арматурному стрижні вздовж вказаної ділянки $\Delta\sigma_{s,i}$, загалом повинні врівноважуватися у зазначеній зоні зусиллями розтягнутого бетону $N_{ct,cr}$ (рис. 1), тобто

$$N_{bd,cr} + \Delta N_{s,i} = N_{ct,cr} \quad (7)$$

Величину зусилля активного зчеплення арматури з бетоном за відомої функції напружень цього зчеплення $\tau_{bd}(y)$ можна визначити за формулою

$$N_{bd,cr} = \int_{s_{ro}} u \cdot \tau_{bd}(y) \cdot dy \cong u \cdot f_{bd} \cdot s_{ro} / 2, \quad (8)$$

де u – периметр перерізу арматурного стрижня діаметром \emptyset , що має площу A_s , дорівнює $u = 4 \cdot A_s / \emptyset$;

s_{ro} – ділянка активного зчеплення арматурного стрижня з бетоном (базова відстань між тріщинами);

f_{bd} – граничне значення напружень зчеплення арматури з бетоном, що знаходиться за виразом

$$f_{bd} = \eta \cdot f_{ct,k}; \quad (9)$$

$f_{ct,k}$ – характеристичне значення міцності бетону за осьового розтягу.

Коефіцієнт η , що враховує профіль арматури, пропонується приймати залежним від відносної площі змінання її поперечних ребер f_R (критерій Г. Рема) за формулою

$$\eta = 1 + 35 \cdot f_R - (12 \cdot f_R)^2, \quad (10)$$

отриманою завдяки обробленню результатів експериментальних досліджень [8, 15]. Для гладкої арматури ($f_R = 0$) зазначений коефіцієнт дорівнює 1,0, а для арматури періодичного профілю до унормування критерію f_R його необхідно обмежувати значенням $\eta = 2,0$.

Максимальне зусилля, що сприймається розтягненим бетоном перед утворенням чергової тріщини $N_{ct,cr}$, можна знаходити за формулою (3) під час визначення граничних деформацій розтягнутого бетону ε_{ctu} за формулою (5). Якщо ж площу перерізу розтягнутого бетону обмежувати відповідно до пропозицій Берга О.Я. [2] за радіусом ефективної взаємодії (активного зчеплення), то зазначене зусилля можна обчислювати за спрощеною формулою

$$N_{ct,cr} = \int \sigma_{ct}(x) \cdot b_n \cdot dx \cong f_{ct,k} \cdot A_{ct,eff}, \quad (11)$$

де $A_{ct,eff}$ – ефективна площа перерізу розтягнутого бетону в радіусі активної взаємодії, дорівнює $A_{ct,eff} = b_n \cdot h_{ct,eff}$ (рис. 2).

За умов осьового розтягу за однорідної епюри напружень $\sigma_{ct} = f_{ct,k}$ висота ефективної площі розтягнутого бетону дорівнює висоті перерізу елемента $h_{ct,eff} = h$. Якщо ж для залізобетонного елемента, що зазнає неоднорідного деформування, розрахункові напруження у розтягнутому бетоні теж прийняти постійними та такими, що дорівнюють $\sigma_{ct} = f_{ct,k}$, то висоту його ефективної площі необхідно знаходити за формулою

$$h_{ct,eff} = (h - x) / 3, \quad (12)$$

та обмежувати величинами $h_{ct,eff} \leq h / 2$ і $h_{ct,eff} \leq 2,5(h - d)$ згідно з чинними нормами [17–19].

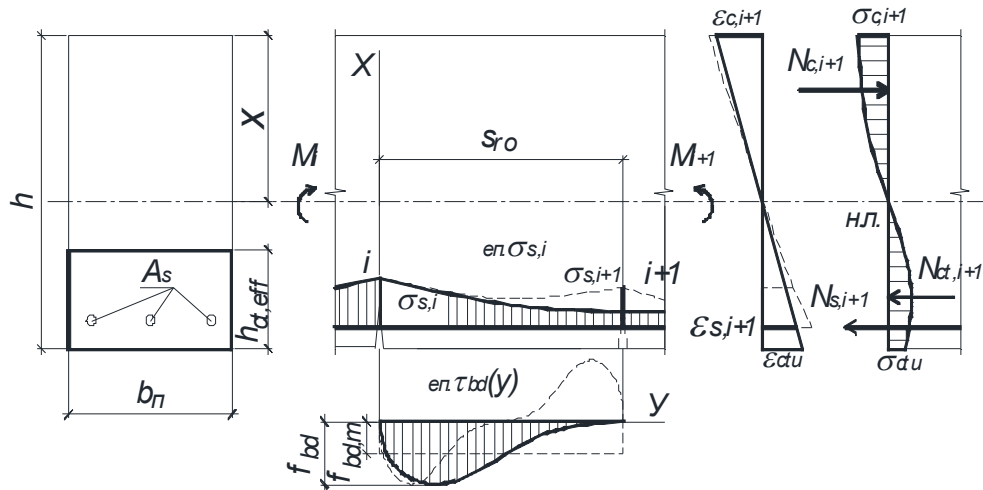


Рис. 2. До визначення максимального зусилля у розтягнутому бетоні в радіусі ефективної взаємодії перед утворенням тріщини

Зміну зусиль у розтягненій арматурі на ділянці між двома суміжними тріщинами обчислюють за виразом

$$\Delta N_{s,i} = (\sigma_{s,i} - \sigma_{s,i+1}) \cdot A_s = \Delta \sigma_{s,i} \cdot A_s, \quad (13)$$

де $\sigma_{s,i}$ – напруження в арматурному стрижні у перерізі з раніше утвореною тріщиною;

$\sigma_{s,i+1}$ – напруження в арматурному стрижні у перерізі з подальшою ймовірною тріщиною безпосередньо за її появи.

Отже, з урахуванням усіх вищенаведених положень базову відстань між тріщинами на рівні центра ваги розтягнутої арматури можна визначати за формулою

$$s_{ro} = \frac{\varnothing}{2 \cdot \eta} \left(\frac{N_{ct,cr}}{A_s \cdot f_{ct,k}} - \frac{\Delta \sigma_{s,i}}{f_{ct,k}} \right). \quad (14)$$

За заміни дійсної криволінійної епюри напружень у розтягнутому бетоні на еквівалентну прямокутну з ординатою $f_{ct,k}$ максимальне зусилля, що сприймається розтягненим бетоном перед утворенням тріщини $N_{ct,cr}$, можна обчислювати за спрощеною формулою

$$N_{ct} = \int_{-\epsilon_{ct,u}}^0 \sigma_{ct}(\epsilon) d\epsilon_{ct} \cong \alpha_{eqv} \cdot A_{ct} \cdot f_{ct,k}, \quad (15)$$

де A_{ct} – дійсна площа перерізу розтягнутого бетону перед утворенням тріщини, що дорівнює $A_{ct} = x_{ct} \cdot b_n$; α_{eqv} – коефіцієнт приведення дійсної площі перерізу розтягнутого бетону до еквівалентної, рекомендується приймати таким, що дорівнює 1,0 за осьового розтягу та 0,8 – за неоднорідного деформування.

З урахуванням виразу (15) формула (14) набуде остаточного вигляду:

$$s_{ro} = \frac{\varnothing}{2 \cdot \eta} \left(\frac{\alpha_{eqv}}{\rho_{l,t}} - \frac{\Delta \sigma_{s,i}}{f_{ct,k}} \right), \quad (16)$$

а за осьового розтягу, коли $\Delta \sigma_{s,i} = 0$, вона спрощується до такого вигляду:

$$s_{ro} = \varnothing / (2 \cdot \eta \cdot \rho_{l,t}), \quad (17)$$

де $\rho_{l,t}$ – коефіцієнт армування розтягнутого бетону, дорівнює $\rho_{l,t} = A_s / A_{ct}$.

Залежність (17) з певними відмінностями та особливостями, але без порушення її фізичного змісту загалом, сьогодні відображена у багатьох національних нормах з проектування бетонних і залізобетонних елементів та конструкцій [17–19, 21]. У зазначених документах, завдяки введенню багатьох емпіричних коефіцієнтів, вона поширена ще й на згинальні елементи. Однак вибраний

шлях універсализації виразу (16) аж ніяк не можна визнати вдалим, оскільки він блокує саму ідею пошуку загальних розв'язків.

Щодо функцій (14) і (16), то вони принципово відрізняються від формули (17). Їх з однаковим успіхом можна застосовувати без обмежень як до центрально розтягнутих, так і до згинальних чи відцентрово завантажених залізобетонних елементів, а отже, вони можуть претендувати на певну універсальність.

Розрахунок розкриття нормальних тріщин доцільно виконувати з позицій послідовного накопичення взаємних зміщень арматури і бетону $\varepsilon_{\tau}(y) = \varepsilon_{ct}(y) - \varepsilon_{sm}(y)$ на ділянках активного зчеплення, розміщених з обох боків від тріщини [1, 13]. Тому ширина розкриття тріщин на стадії стабілізованого тріщиноутворення (за встановленої відстані між ними) може бути визначена за формулою

$$w_k = 2 \int_0^{0,5s_{ro}} \varepsilon_{\tau}(y) dy \cong s_{ro} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm}), \quad (18)$$

де ε_{sm} – середні значення відносних деформацій розтягнутої арматури на ділянці між тріщинами;

ε_{ctm} – середні значення відносних деформацій розтягнутого бетону на тій самій ділянці.

Середні деформації арматури можна знаходити безпосередньо з діаграми стану елемента в осередненому перерізі блока між тріщинами $\varepsilon_{sm} = f(I/\rho)$ або визначати за спрощеним виразом:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} - \frac{\alpha_{eqv} \cdot f_{ctk}}{2 \cdot \rho_{l,t} \cdot E_s}. \quad (19)$$

Щодо середніх деформацій розтягнутого бетону на ділянці між тріщинами, то їх рекомендується обчислювати за формулою

$$\varepsilon_{ctm} = \frac{\varepsilon_{ctu}}{2} \cdot \frac{d-x}{h-x} \quad (20)$$

або з урахуванням залежності (6) за $(d-x)/(h-x) \cong 0,8$ знаходити за спрощеним виразом:

$$\varepsilon_{ctm} = 0,8 \cdot f_{ctk} / E_{co}, \quad (21)$$

де d – відстань від стисненої грані до центра ваги розтягнутої арматури.

Отже, беручи до уваги залежності (14)...(20), ширину розкриття тріщин у залізобетонному елементі доцільно визначати за формулою (22), яка фактично не містить емпіричних параметрів:

$$w_k = \frac{\varnothing}{2 \cdot \eta \cdot f_{ct,k}} \left(\frac{N_{ct,cr}}{A_s} - \Delta\sigma_{s,i} \right) \cdot \left(\varepsilon_{sm} - \frac{\varepsilon_{ctu}}{2} \cdot \frac{d-x}{h-x} \right), \quad (22)$$

або зважаючи на (21), обчислювати наближено за виразом (23), що містить мінімальну кількість таких параметрів:

$$w_k = \frac{\varnothing}{2 \cdot \eta \cdot E_s} \left(\frac{\alpha_{eqv} \cdot f_{ct,k}}{\rho_{l,t}} - \Delta\sigma_{s,i} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_s}{f_{ct,k}} - \frac{\alpha_{eqv}}{2 \cdot \rho_{l,t}} - 0,8 \cdot \alpha_s \right). \quad (23)$$

За осевого розтягу, коли $\Delta\sigma_{s,i} = 0$, обидві із вищенаведених функцій спрощуються до залежності

$$w_k = \frac{\varnothing}{2 \cdot \eta \cdot \rho_{l,t} \cdot E_s} \cdot \left(\sigma_s - \frac{f_{ct,k}}{2 \cdot \rho_{l,t}} - \alpha_s \cdot \frac{f_{ct,k}}{2} \right), \quad (24)$$

яка у дещо зміненій формі, але без порушення її фізичного змісту, сьогодні відображена в окремих національних нормах з проектування бетонних і залізобетонних елементів та конструкцій [17–19, 21]. Тут, через застосування багатьох емпіричних коефіцієнтів, вона поширена і на згинальні елементи, але без забезпечення її універсальності.

Щодо функцій (22) та (23), то вони у своїй основі принципово відрізняються від виразу (24) і однаково прийнятні як для центрально розтягнутих, так і для залізобетонних елементів, що

зазнають неоднорідного деформування. До того ж зазначені залежності дають змогу контролювати величину розкриття нормальних тріщин у будь-яких залізобетонних елементах протягом усього процесу їх деформування, оскільки безпосередньо пов'язані з визначальними параметрами напружено-деформованого стану (зокрема, значеннями кривини $1/\rho_i$, величинами згинальних моментів M_i , напруженнями в арматурі $\sigma_{s,i}$ та її деформаціями $\varepsilon_{s,i}$ тощо) через систему рівнянь:

$$\begin{cases} w_k = \frac{\emptyset}{2 \cdot \eta \cdot f_{ct,k}} \left(\frac{N_{ct,cr}}{A_s} - \Delta\sigma_{s,i} \right) \cdot \left(\varepsilon_{sm} - \frac{\varepsilon_{ctu}}{2} \cdot \frac{d-x}{h-x} \right) \text{ або} \\ w_k = \frac{\emptyset}{2 \cdot \eta \cdot E_s} \left(\frac{\alpha_{eqv} \cdot f_{ct,k}}{\rho_{l,t}} - \Delta\sigma_{s,i} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_s}{f_{ct,k}} - \frac{\alpha_{eqv}}{2 \cdot \rho_{l,t}} - 0,8 \cdot \alpha_s \right); \\ w_k = f(\sigma_{s,i}) \text{ або } w_k = f(\varepsilon_{s,i}); \\ \sigma_{s,i} = f(M_i) \text{ або } \varepsilon_{s,i} = f(1/\rho). \end{cases} \quad (25)$$

Висновки

Отже, враховуючи вищесказане, необхідно відзначити, що розроблена модель утворення та розкриття нормальних тріщин у залізобетонних елементах і конструкціях має багато переваг перед іншими, оскільки:

- виступає складовою частиною узагальненої моделі їх деформування;
- є універсальною, бо у своїй основі максимально позбавлена впливу емпіричних параметрів і коефіцієнтів та однаковою мірою прийнятна як для центрально розтягнутих, так і для згинальних або відцентрово завантажених залізобетонних елементів;
- враховує якісну та кількісну різницю між параметрами зчеплення арматури з бетоном до та після утворення тріщин;
- розглядає відстань між суміжними тріщинами як величину, що дискретно змінюється протягом усього процесу деформування;
- відображає залежність усереднених розрахункових значень граничних напружень зчеплення арматури з розтягненим бетоном від величини напружень у самій арматурі;
- враховує вплив профілю арматури (відносної площі змінання її поперечних ребер) на процеси утворення, розвитку та розкриття нормальних тріщин;
- прямо пов'язує тріщиностійкість залізобетонних елементів і конструкцій з визначальними параметрами їх напружено-деформованого стану (значеннями кривини $1/\rho_i$, величинами згинальних моментів M_i , напруженнями в арматурі $\sigma_{s,i}$ та її деформаціями $\varepsilon_{s,i}$ тощо);
- дає змогу контролювати процес утворення та розкриття нормальних тріщин у залізобетонних елементах на будь-якій стадії їх деформування;
- представляє процес розкриття нормальних тріщин як послідовне накопичення взаємних зміщень (проковзування) арматури стосовно бетону на ділянках активного зчеплення;
- сприяє методологічній єдності розрахунків залізобетонних елементів за 1-ю та 2-ю групами граничних станів.

1. Мурашев В.И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона / В.И. Мурашев. – М.: Машиностроиздат, 1950. – 268 с. 2. Берг О.Я. Исследования процесса трещинообразования в железобетонных элементах с арматурой периодического профиля / О.Я. Берг // Сообщение ВНИИ железнодорожного строительства и проектирования. – М.: Трансжелдориздат, 1954. – № 44. – С. 11–15. 3. Оатул А.А. Основы сцепления арматуры с бетоном / А.А. Оатул // Исследования по бетону и железобетону. – Челябинск, 1967. – № 46. – 143–162. 4. Федоренко М.М. Про утворення тріщин і роботу розтягнутого бетону між тріщинами в елементах залізобетонних конструкцій / М.М. Федоренко // Будівельні матеріали і конструкції. – 1968. – № 4. – С. 39–46. 5. Немировский Я.М. Влияние растянутой и сжатой зон бетона на деформации обычных изгибаемых железобетонных элементов после возникновения в них трещин /

Я.М. Немировский, О.И. Кочетков // Особенности деформаций бетона и железобетона и использование ЭВМ для оценки их влияния на поведение конструкций. – М.: Госстройиздат, 1969. – С.106–156. 6. Портер Э.Г. Исследование ширины раскрытия трещин в растянутых элементах железобетонных стержневых систем / Э.Г. Портер, В.А. Клевцов, Г.И. Бердычевский // Предварительно напряженные железобетонные конструкции производственных зданий и инженерных сооружений. – М.: Госстройиздат, 1969. – С.26–42. 7. Молодченко Г.А. Исследование процесса трещинообразования в железобетоне при растяжении / Г.А. Молодченко // Строительные конструкции. – Вып. XIX. – К.: Будівельник, 1972. – С. 80–84. 8. Хакимов Ш.А. Особенности трещинообразования в балках с различной толщиной защитного слоя бетона / Ш.А. Хакимов // Воздействие статических, динамических и многократно повторяющихся нагрузок на бетон и элементы железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1972. – С. 65–85. 9. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с. 10. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном / М.М. Холмянский. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с. 11. Городецкий Л.М. Исследование образования и развития трещин в элементах и конструкциях из плотного силикатного бетона: дис. ... канд. техн. наук / Л.М. Городецкий. – М.: НИИЖБ, 1985. – 210 с. 12. Гаттас А. Ф. Трещиностойкость стержневых железобетонных элементов: дис. ... канд. техн. наук / А. Ф. Гаттас. – К., 1994. – 244 с. 13. Бондаренко В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – СПб. – М.: АСВ, 2004. – 472 с. 14. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования: учеб. пособ. для студ. строит. спец. / Н.П. Блещик, Д.Д. Жуков, Д.Н. Лазовский и др.; под. ред. проф. Т.М. Пецоляда и проф. Тура В.В. – Брест: БГТУ, 2003. – 380 с. 15. Цыба О.О. Трещиностойкость и деформативность растянутого бетона с ненапрягаемой и напрягаемой стержневой арматурой, имеющей различную относительную площадь смятия поперечных ребер: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.О. Цыба. – М.: ОАО НИЦ «Строительство», 2011. – 24 с. 16. Кочкаръов Д.В. Передумови розрахунку та розрахунок прогинів залізобетонних елементів, що зазнають згину, з урахуванням нелінійного деформування матеріалів / Д.В. Кочкаръов, В.І. Бабич // Будівельні конструкції. – Вип. 74. – К.: Будівельник, 2011. – С. 406–413. 17. 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). 18. СНБ 5.03.01-02. Конструкции бетонные и железобетонные. – Мн.: Стройтехнорм, 2002. – 274 с. – (Національний стандарт Білорусії). 19. 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). 20. Ромашко В.М. Щодо визначення моменту утворення нормальних тріщин в згинальних залізобетонних елементах / В.М. Ромашко // Будівельні конструкції. – Вип.74. – К.: Будівельник, 2011. – С. 365–372. 21. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного натяжения арматуры. – М.: ГУП НИИЖБ, ФГУП ЦПП, 2004. – 53 с. – (Стандарт Російської Федерації).