



Рис 3 – Діаграма деформування (а) та залежність “ $E_{fbt} \div \eta_t$ ” (б) при повторному розтягненні призм П-0,8

На підставі виконаних експериментальних досліджень можна дійти висновків, що межа втомленості сталевібробетону при розтягненні знаходиться не нижче 0,8; між напруженнями і деформаціями сталевібробетону як при одноразовому розтягненні до руйнування, так і після повторних навантажень може бути прийнята залежність у вигляді (2), що дає хорошу збіжність з експериментальними даними; між модулем пружно-пластичності сталевібробетону і рівнем навантаження існує лінійна залежність у вигляді (3), яка може бути прийнята як функціональна; стабілізація деформацій при повторному навантаженні при  $\eta_t \leq 0,8$  відбувається на п'ятому – сьомому циклах навантаження – розвантаження; для уточнення параметрів деформування сталевібробетону при розтягненні необхідно здобувати нові експериментальні дані.

1. Сунак О.П. Сталевібробетонні конструкції. – К.: ІЗіМН, 1999. – 158 с.

2. Бабич С.М., Крись Ю.О. Бетонні і залізобетонні елементи в умовах малоцикло-вих навантажень. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2001. – 119 с.

3. Бабич С.М., Савицький В.В. Дослідження деформування бетону при одноразовому та повторному розтягненні // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Вип.7. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2001. – С. 95-105.

Отримано 16.05.2002

УДК 624.012 : 620.174

Є.В.КЛИМЕНКО, канд. техн. наук, О.Б.НОСАЧ

Полтавський державний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

### ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ УТВОРЕННЯ ПОХИЛИХ ТРІЩИН В ТАВРОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ ПРИ КОСОМУ ЗГИНАННІ

Запропоновано підхід до визначення зусилля утворення похилих тріщин в таврових залізобетонних елементах при косому згинанні. Наведено порівняння розробленої методики з нормативною.

За діючими нормами [1] розрахунок утворення похилих тріщин в елементах, що працюють на косе згинання і не мають попереднього напруження, виконують як для суцільного пружного тіла. Встановлено, що навіть у випадку плоского згину нормативна методика суттєво занижує величину зусилля тріщиноутворення, враховуючи лише дію поперечної сили  $Q$ .

З метою розв'язання цієї проблеми були проведені експериментально-теоретичні дослідження [2] тріщиностійкості похилих перерізів таврових залізобетонних елементів при дії косоного згинання. Загальна кількість зразків – 32. Для випробуваних експериментальних зразків було обчислено значення головних розтягуючих  $\sigma_{mt}$  і стискальних напружень  $\sigma_{mc}$  від дії згинального моменту  $M_x$ , поперечної сили  $Q_x$  і напружень від місцевого прикладення навантаження. Значення головних напружень від зовнішнього навантаження, при якому відбувається поява похилих тріщин, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Напруження від дії зовнішнього навантаження

| Шифр зразка | $\sigma_y$ , МПа | $\sigma_{y,loc}$ , МПа | $\tau_{xy}$ , МПа | $\sigma_{mt}$ , МПа | $\sigma_{mc}$ , МПа | $R_{bt} \gamma_{b4}$ , МПа |
|-------------|------------------|------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| БТ-05-1     | 0,64             | -0,01055               | 1,45              | 1,80                | -1,17               | 1,900                      |
| БТ-05-2     | 0,68             | -0,01129               | 1,59              | 1,96                | -1,29               | 1,900                      |
| БТ-06-1     | 0,62             | -0,01024               | 1,40              | 1,74                | -1,13               | 1,900                      |
| БТ-06-2     | 0,75             | -0,01064               | 1,38              | 1,80                | -1,06               | 1,900                      |
| БТ-07-1     | 0,76             | -0,01093               | 1,46              | 1,88                | -1,13               | 1,900                      |
| БТ-07-2     | 0,73             | -0,01016               | 1,29              | 1,69                | -0,98               | 1,900                      |
| БТ-08-1     | 0,47             | -0,00956               | 1,38              | 1,63                | -1,17               | 1,900                      |
| БТ-08-2     | 0,52             | -0,01108               | 1,70              | 1,98                | -1,47               | 1,900                      |
| БТ-09-1     | 0,73             | -0,01016               | 1,29              | 1,69                | -0,98               | 2,000                      |
| БТ-09-2     | 0,68             | -0,00956               | 1,21              | 1,59                | -0,92               | 2,000                      |
| БТ-10-1     | 0,74             | -0,01065               | 1,40              | 1,82                | -1,08               | 2,000                      |
| БТ-10-2     | 0,49             | -0,01042               | 1,59              | 1,85                | -1,37               | 2,000                      |
| БТ-11-1     | 0,51             | -0,01055               | 1,56              | 1,83                | -1,33               | 2,000                      |
| БТ-11-2     | 0,47             | -0,01003               | 1,54              | 1,79                | -1,33               | 2,000                      |
| БТ-12-1     | 0,67             | -0,01136               | 1,68              | 2,03                | -1,38               | 2,000                      |
| БТ-12-2     | 0,69             | -0,01167               | 1,71              | 2,08                | -1,41               | 2,000                      |
| БТ-13-1     | 0,52             | -0,01124               | 1,79              | 2,06                | -1,55               | 2,200                      |
| БТ-13-2     | 0,55             | -0,01155               | 1,74              | 2,03                | -1,49               | 2,200                      |
| БТ-14-1     | 0,55             | -0,01129               | 1,65              | 1,94                | -1,40               | 2,200                      |
| БТ-14-2     | 0,68             | -0,01200               | 1,88              | 2,24                | -1,58               | 2,200                      |
| БТ-15-1     | 0,64             | -0,01067               | 1,52              | 1,86                | -1,24               | 2,200                      |
| БТ-15-2     | 0,62             | -0,01020               | 1,42              | 1,75                | -1,15               | 2,200                      |
| БТ-16-1     | 0,72             | -0,01029               | 1,35              | 1,75                | -1,04               | 2,200                      |
| БТ-16-2     | 0,73             | -0,01020               | 1,31              | 1,71                | -1,00               | 2,200                      |

Середньоквадратичне відхилення обчислених головних розтягуючих напружень і практично визначеної міцності бетону на розтяг з урахуванням роботи в умовах плоского напруженого стану становить 0,25; коефіцієнт варіації – 0,351.

Слід зауважити, що даний підхід до визначення моменту утворення похилої тріщини забезпечує задовільну збіжність теоретичних і експериментальних результатів, проте є досить трудомістким при проведенні перевірочних розрахунків.

Після проведення чисельного експерименту [2] методами нелінійного згладжування і двоступеневим методом найменших квадратів за допомогою пакету статистичної обробки SPSS була отримана залежність виду

$$P_{crc,inc} = k_1 R_{bt} b h_0^{2,2} \cos \beta \cdot a, \quad (1)$$

де  $a$  – відстань від прикладеної зосередженої сили до опори;  $\beta$  – кут нахилу силової площини;  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує вид бетону. Інші змінні аналогічні прийнятим в нормах.

З метою забезпечення логічної єдності отриманої залежності з методикою СНиП 2.03.001-84\* для врахування особливостей напружено-деформованого стану похилого перерізу при косому згині нами були застосовані коефіцієнти, запропоновані до використання в нормах.

Коефіцієнт  $\gamma_\beta$  враховує кут нахилу силової площини і нейтральної осі при косому згині. Він отриманий О.А. Кодак шляхом інтерполяції дослідних даних [3].

$$\gamma_\beta = \cos(\gamma - \beta). \quad (2)$$

Для таврових елементів, що не мають попереднього напруження, при дії зосереджених сил момент появи похилої тріщини треба визначати за формулою

$$Q_{crc} = \varphi_b z R_{bt,ser} (b h_0^2)_{red} \gamma_\beta / c_w. \quad (3)$$

При визначенні геометричних характеристик приведенного перерізу пропонуємо замість добутку  $(b h_0^2)$  та коефіцієнта  $\varphi_f$ , що має емпіричний характер, застосовувати деяку середню приведену висоту  $h_{red}$  і ширину перерізу  $b_{red}$ . Для рекомендованих нормами співвідношень геометричних розмірів поперечних перерізів цей підхід не призводить до аномальних результатів розрахунку.

Для визначення робочої висоти перерізу  $h_{0,red}$  і приведеної ширини  $b_{red}$  залежно від кута нахилу силової площини  $\beta$  слід використувати формули

$$h_{0,red} = h_0 \cos \beta + \frac{1}{2}(b'_f + b) \sin \beta, \quad (4)$$

$$b_{red} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n [(y_{i+1} + y_i)(x_{i+1} - x_i)]}{\sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i)}, \quad (5)$$

де  $x_i$  та  $y_i$  – відповідні координати крайніх точок таврового перерізу. У випадку прямокутного перерізу при косому згинанні приведена ширина перерізу, обчислена за цими формулами, буде дорівнювати  $b_0 \sin \beta$  (при плоскому згині –  $b$ ).

Зазначимо, що формули (4), (5) враховують вплив полиці в стиснутій зоні без емпіричного коефіцієнта  $\varphi_f$ , але ширину полиці в розрахунок слід приймати не більше  $3 h'_f$ , як у випадку плоского згину.

Прийнятність цього підходу для елементів, що мають більшу ширину полиці, не була перевірена експериментально. Для реальних балочних конструкцій із співвідношеннями полиці і ребра, що рекомендовані СНиП 2.03.01-84\*, були обчислені теоретичні значення за запропонованою і нормативною методиками і на основі їх зроблено висновок про доцільність застосування.

Коефіцієнт  $\varphi_{b3}$  враховує вид бетону і прийнятий згідно з [1]. Величина  $c_w$  в (3) – довжина проекції на поздовжню вісь елемента сліду перетину двох площин: критичної похилої тріщини та силової. Значення  $c_w$  є відомою величиною з розрахунку міцності.

Для визначення довжини проекції похилої тріщини на поздовжню вісь елемента пропонуємо використовувати вираз

$$c_w = c_0 \eta, \quad (6)$$

запропонований Кодак О.А. [3], прийнятність якого для таврових елементів при плоскому і косому згині підтверджена наявними експериментальними даними. На довжину проекції похилої тріщини наклада-

ється умова  $\frac{h_0}{2 \cos \beta} \leq c_w \leq \frac{2h_0}{\cos \beta}$ . Формула (6) визначає довжину

проекції критичної похилої тріщини залежно від рівня завантаження елемента  $\eta$ . Це запобігає перевищенню розрахункових напружень над експериментальними і дозволяє докладніше описувати напружено-деформований стан похилого перерізу після утворення критичної похилої тріщини.

Відстань від опори до найбільш небезпечного з точки зору появи похилої тріщини перерізу визначаємо, виходячи з таких умов:

1) постійне на деякій ділянці  $dx$  і максимальне за модулем значення поперечної сили  $Q$ ;

2) наявність напружень від місцевого прикладення навантаження, обмежена зоною  $0,7h_0$  в кожний бік від точки прикладення;

3) середнє значення згинального моменту  $\bar{M}$  на ділянці  $dx$ , що розглядається.

Порівняння результатів, отриманих при використанні методики СНиП 2.03.01-84\* та розробленої нами, зведені в табл.2, де наведені: значення поперечної сили  $Q_{crc,inc,exp}$ , що діє в розрахунковому перерізі; обчислена за методикою СНиП 2.03.01-84\* поперечна сила  $Q_{crc,inc,theor}$ ; відношення обчисленої до експериментальної; те ж за розробленою методикою.

Запропонований підхід дає збіжність експериментальних і теоретичних значень на 5-12 відсотків кращу, ніж нормативна методика. Перевагою є можливість приведення перерізів складної форми і відмова від використання коефіцієнта  $\varphi_f$ , який у випадку розвиненої полиці перевищує значення 1,5 і його доводиться штучно приймати рівним 1,5.

Запропонована методика була використана для перевірочних розрахунків під час капітального ремонту і технічного переоснащення сушильно-заготівельного цеху ЗАТ "Кленовий лист +" в м.Кременчуці Полтавської області. У ході робіт виникла необхідність встановлення бункера-накопичувача на чотири існуючих залізобетонних балки таврового перерізу. Після прикладення експлуатаційного навантаження схема завантаження конструкцій змінювалась таким чином, що балки працювали на досі згинання. Перевірочні розрахунки дали змогу оцінити напружено-деформований стан конструкцій і зробити висновок про їх придатність до подальшої експлуатації в умовах зміни схеми завантаження. Це дозволило заощадити кошти на демонтажі існуючих

конструкцій, придбанні і монтажу нових, а також скоротило строки переоснащення виробництва. Таким чином, загальний економічний ефект по підприємству станом на 21 листопада 2001р. склав 14850 грн.

Таблиця 2 – Порівняння методики СНиП 2.03.01-84\* і розробленої

| Шифр                               | $Q_{crc,inc,exp}$ | За методикою СНиП 2.03.01-84* |           | За розробленою методикою |           |
|------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
|                                    |                   | $Q_{crc,inc,theor}$           | theor/exp | $Q_{crc,inc,theor}^*$    | theor/exp |
| БТ-05-1                            | 9,135             | 7,734                         | 0,847     | 8,815                    | 0,965     |
| БТ-05-2                            | 10,643            | 7,515                         | 0,706     | 8,614                    | 0,809     |
| БТ-06-1                            | 12,198            | 8,010                         | 0,657     | 9,183                    | 0,753     |
| БТ-06-2                            | 11,269            | 8,392                         | 0,745     | 9,375                    | 0,832     |
| БТ-07-1                            | 9,823             | 8,416                         | 0,857     | 9,420                    | 0,959     |
| БТ-07-2                            | 11,204            | 8,712                         | 0,778     | 9,691                    | 0,865     |
| БТ-08-1                            | 14,719            | 9,586                         | 0,651     | 10,092                   | 0,686     |
| БТ-08-2                            | 13,123            | 8,585                         | 0,654     | 9,111                    | 0,694     |
| БТ-09-1                            | 9,804             | 8,490                         | 0,866     | 9,702                    | 0,990     |
| БТ-09-2                            | 8,355             | 9,078                         | 1,087     | 10,348                   | 1,239     |
| БТ-10-1                            | 8,387             | 8,486                         | 1,012     | 9,759                    | 1,164     |
| БТ-10-2                            | 16,371            | 9,383                         | 0,573     | 10,491                   | 0,641     |
| БТ-11-1                            | 13,135            | 8,982                         | 0,684     | 10,025                   | 0,763     |
| БТ-11-2                            | 14,777            | 9,609                         | 0,650     | 10,758                   | 0,728     |
| БТ-12-1                            | 13,626            | 9,060                         | 0,665     | 9,636                    | 0,707     |
| БТ-12-2                            | 12,146            | 8,778                         | 0,723     | 9,342                    | 0,769     |
| БТ-13-1                            | 16,387            | 9,249                         | 0,564     | 10,674                   | 0,651     |
| БТ-13-2                            | 16,419            | 8,525                         | 0,519     | 9,779                    | 0,596     |
| БТ-14-1                            | 13,123            | 8,567                         | 0,653     | 9,812                    | 0,748     |
| БТ-14-2                            | 12,181            | 9,565                         | 0,785     | 10,810                   | 0,887     |
| БТ-15-1                            | 10,568            | 10,166                        | 0,962     | 11,340                   | 1,073     |
| БТ-15-2                            | 9,135             | 10,165                        | 1,113     | 11,340                   | 1,241     |
| БТ-16-1                            | 9,785             | 10,530                        | 1,076     | 11,138                   | 1,138     |
| БТ-16-2                            | 11,226            | 10,387                        | 0,925     | 10,963                   | 0,977     |
| Математичне сподівання $\bar{x}$ : |                   |                               | 0,781     |                          | 0,870     |
| Дисперсія $\sigma^2$               |                   |                               | 0,029930  |                          | 0,03732   |
| Коефіцієнт варіації $V, \%$        |                   |                               | 22,14     |                          | 22,21     |

1. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТИП Госстроя СССР, 1989. – 79 с.

2. Вахненко П.Ф., С.В.Клименко, О.Б.Носач. Використання математичної статистики при дослідженні тріщиностійкості залізобетонних конструкцій // Коммунальное хозяйство городов: Науч.- техн. сб. Вып. 33. – К., Техніка, 2001. – С.94–98.

3. Вахненко П.Ф., Кодак О.А. Вплив косоного згину на тріщиностійкість похилого перерізу залізобетонних балок. // Будівництво України. – 2000. – №1. – С.44–45.

*Отримано 16.05.2002*

УДК 69.059.3

П.М.КОЗЕЛЕЦЬКИЙ, І.Г.ЛЮБЧЕНКО, канд. техн. наук, В.В.РОДА  
*Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій, м.Київ*

### **НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ОБСТЕЖЕННЯ, ОЦІНКИ РЕСУРСУ ТА ПІДСИЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД**

Розглянуті принципові питання підтримання в придатному для експлуатації стані будівельної складової основних фондів. Звернуто увагу на актуальність широкого впровадження наукового супроводження будівельних об'єктів на всіх етапах їх життєвості.

Економічні перетворення після отримання Україною незалежності вимагають нових підходів до питань наукового супроводження об'єктів будівництва - як нових, так і тих, що реконструюються або реставруються. Адже на сьогодні кардинальні зміни у структурі капітальних вкладень та інвестицій змістили акценти в напрямку інтенсифікації реконструкції будівель і споруд або використання територій, повної реконструкції старих житлових будинків із обладнанням офісних та торговельних приміщень, нової забудови центральних, у тому числі історичних кварталів міст.

Значний ступінь амортизації основних фондів, проблеми реконструкції житлових будинків перших типових серій, відновлення, відтворення та реставрація історичних культових споруд в існуючій забудові за умови врахування їх впливу на оточуючі об'єкти, а також бажання щодо прискорення окупності інвестицій потребують визначення технічних та експлуатаційних ресурсів будівельних конструкцій і вжиття заходів для продовження їх життєвого циклу, в тому числі при прискорених темпах робіт і обмежених територіях будівельних майданчиків.

Слід зазначити, що вартість основних фондів, накопичених у державі, складає більше 850 млрд. грн. (майже 20 річних бюджетів країни). Але їх зношеність становить майже 45%. Деякі об'єкти мають вік понад 100 років. На даний час під охороною держави знаходиться більше 16 тис. пам'яток архітектури та містобудування, садівничо-