

УДК 624.012.35

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ВАЖІЛЬНО-СТРИЖНЕВОЮ СИСТЕМОЮ

*к.т.н., доцент кафедри будівництва Чеканович О.М.,
к.т.н., професор кафедри будівництва Чеканович М.Г.,
аспірант, асистент кафедри будівництва Журахівський В.П.
Херсонський державний аграрний університет, м. Херсон*

Підсилення залізобетонних згинальних елементів зовнішньою арматурою з використанням поздовжнього обтиску знайшло широке застосування в будівництві, зокрема при реконструкції. В роботах Абовського М.П., Голишева А.Б., Губія М.М., Домбаєва І.А., Перельмутера А.В., Салії Г.Ш., Фомиці Л.М., Шагіна О.Л. відзначається суттєва роль поздовжнього обтиску в підвищенні несучої здатності, тріщиностійкості та жорсткості залізобетонних згинальних елементів, підсиленних зовнішньою арматурою. Використання затяжок в нижній розтягнутій зоні згинального елемента підвищує його несучу здатність та жорсткість шляхом створення поздовжнього стискаючого зусилля, яке частково компенсує негативний вплив зовнішнього навантаження. Але виконання таких конструкцій підсилення вимагає додаткових витрат металу та дещо збільшує робочу висоту конструкцій. Крім того, неможливо здійснити раціональний перерозподіл зусиль між нижнім розтягнутим та верхнім стисненим поясами згинального елемента відповідно до величини зовнішнього навантаження.

Розрахунок несучої здатності і деформативності залізобетонних згинальних елементів, підсиленних зовнішньою арматурою, розроблений достатньо, але в межах розглянутих методик роботу додаткових елементів, що розвантажують стиснену зону бетону, врахувати важко, особливо для всіх стадій НДС. Відсутні дослідження напружено-деформованого стану, які розглядають штучне зниження зусиль стиску у верхній зоні балкової конструкції під навантаженням з одночасним зменшенням зусиль розтягу у нижній зоні згинального елемента у певній пропорції.

Як відомо, негативним наслідком дії згинального моменту на залізобетонний елемент є не тільки утворення тріщин у розтягнутій нижній зоні, а й надмірний стиск верхньої фібри. Це може викликати передчасну появу тріщин та виколи бетону стисненої зони. Для попередження такого явища пропонується виконати підсилення залізобетонної балки затяжкою в нижній розтягнутій та розтяжками у верхній стисненій зоні балки. Загальний вигляд такої конструкції підсилення наведений на рис. 1 [4].

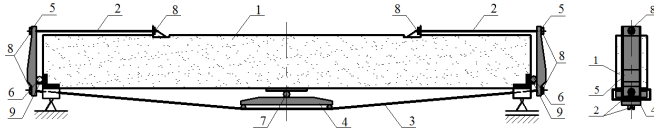


Рис. 1. Загальний вигляд балки, підсиленої ВСС, збоку та з торця
 1 - залізобетонна балка; 2 – розтяжки; 3 – затяжка; 4 – траверса; 5 –
 двоплечові важелі; 6, 7 – котки; 8 – комплект кріплень зі сферичними
 шайбами; 9 - упор

Вплив запропонованої важільно-стрижневої системи (ВСС) підсилення враховується дією зовнішніх реактивних зусиль, прикладених до балки (рис. 2).

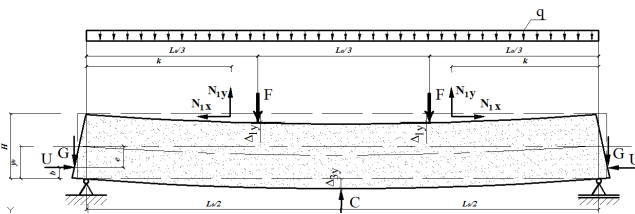


Рис. 2. Розрахункова деформована схема балки під дією зовнішнього навантаження та реакції зусиль запропонованої ВСС
 e – початковий ексцентриситет поздовжнього зусилля обтиску U ; k –
 розрахункова довжина розтяжки; b – відстань від точки прикладання
 поздовжнього зусилля обтиску до нижньої грані балки

Методика визначення НДС базується на фізично обґрунтованих передумовах, що дозволяє оцінити роботу балкової конструкції на всіх стадіях її роботи під навантаженням до руйнування. При виведенні рівнянь НДС залізобетонних перерізів були прийняті такі передумови:

1. За розрахунковий прийнято переріз, деформації в якому рівні середнім за довжиною умовного блока між тріщинами (якщо тріщини є).
2. Розподіл по висоті перерізу середніх деформацій бетону лінійний згідно гіпотези плоских перерізів.
3. Напруження в бетоні залежать нелінійно від деформацій (рис. 3) і можуть визначатись поліномом p' ’ятого степеня.

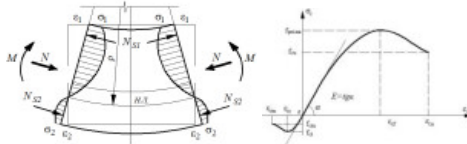


Рис. 3. Напружено-деформований стан блоку балкового елемента та розрахункова діаграма « σ_{ϵ} - ϵ_{ϵ} » бетону

4. Вплив прогресуючого тріщиноутворення на зниження зусилля, що сприймається розтягнутою зоною бетону, враховується множенням умовних розтягуючих напружень бетону на коефіцієнт [2, 3] $\psi_{ct} = f(\varepsilon_2)$, де ε_2 – відносна деформація крайньої розтягнутої фібри балки.

5. Залежність між напруженнями та деформаціями арматурної сталі приймається у вигляді окремих лінійних ділянок діаграми [1-3], параметри якої отримують експериментальним шляхом.

6. Дія системи підсилення ВСС на балку умовно представляється зовнішніми додатковими силами реакції, значення яких залежать від величин переміщень балки в місцях їх взаємодії. Враховується деформована схема балки на кожному ступені навантаження.

7. Зв'язок між напруженнями і деформаціями зовнішньої арматури приймається за діаграмами аналогічно до п. 5.

Виходячи з наведених вище передумов, рівняння рівноваги перерізів блоку між тріщинами мають наступний вигляд:

$$\sum_{c=1}^2 N_c - \int_A \sigma_c \cdot dA + \sum_{i=1}^m \sigma_{si} \cdot A_{si} = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{c=1}^6 M_c - \int_A \sigma_c \cdot h \cdot dA - \sum_{i=1}^m \sigma_{si} \cdot h_{si} \cdot A_{si} = 0, \quad (2)$$

де σ_c - нормальні напруження на елементарній площині dA перерізу, що розташована на відстані h від нейтральної лінії; σ_{si} , A_{si} , h_{si} - нормальні напруження, площа та відстань до нейтральної лінії i -го арматурного стрижня; $\sum_{c=1}^2 N_c$, $\sum_{c=1}^6 M_c$ - сумарні поздовжня сила та момент від дії зовнішнього навантаження F , q та складових зусиль реакції системи підсилення U , C , G , N_{Ix} , N_{Iy} з урахуванням змінного ексцентриситету поздовжніх зусиль.

Напруження в бетоні σ_{ci} нелінійно залежать від деформацій ε_i і можуть бути представлені у вигляді степеневого поліному [2, 3]:

$$\sigma_{ci} = f_{prism} \cdot \sum_{k=1}^5 a_k \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon_{cf}^k}, \quad (3)$$

де f_{prism} - середнє значення опору бетону призми, ε_{cf} - відносна деформація стиску при навантаженні f_{prism} , a_k - коефіцієнти степеневого поліному. П'ятий порядок степеневого поліному забезпечує необхідну точність розрахунків залізобетонних конструкцій.

Тоді поздовжня сила та момент в бетоні матимуть вигляд:

$$N = f_{prism} \cdot \frac{B}{\chi} \cdot \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \sum_{k=1}^5 a_k \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon_{cf}^k} \cdot d\varepsilon \quad (4)$$

$$M = f_{prism} \cdot \frac{B}{\chi^2} \cdot \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \sum_{k=1}^5 a_k \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon_{cf}^k} \cdot d\varepsilon \quad (5)$$

Наведені вище рівняння описують усі форми рівноваги (рис. 4) залізобетонних конструкцій прямокутного перерізу.

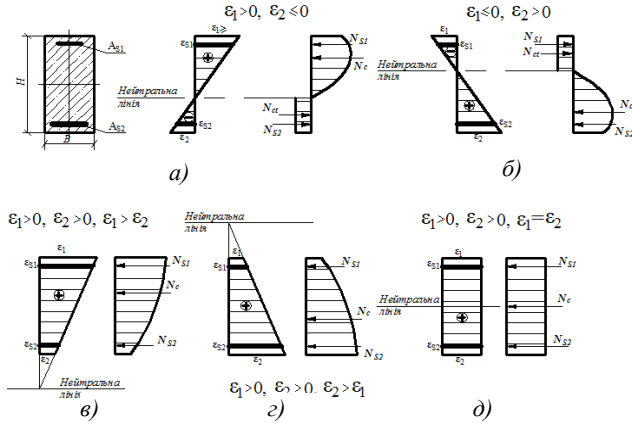


Рис. 4. Форми НДС прямокутного перерізу: а) – згин; б) – вигин; в), з) – позацентричний тиск; д) – центральний тиск

Аналітично різниця між ними в формулах враховується підстановкою відповідних меж інтегрування. Після вирішення визначених інтегралів одержимо рівняння НДС для стиснутого бетону балки прямокутного перерізу:

$$N_{ci} = f_{prism} \cdot \frac{B}{\chi} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \cdot \frac{\varepsilon_1^{k+1} - \varepsilon_2^{k+1}}{\varepsilon_{cf}^k} \quad (6)$$

$$M_{ci} = f_{prism} \cdot \frac{B}{\chi^2} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \cdot \frac{\varepsilon_1^{k+2} - \varepsilon_2^{k+2}}{\varepsilon_{cf}^k} \quad (7)$$

Поздовжня сила та момент від дії розтягнутого бетону в перерізі мають вигляд:

$$N_{ct} = \psi_{ct} \cdot f_{ct} \cdot h \cdot B \quad (8)$$

$$M_{ct} = \psi_{ct} \cdot f_{ct} \cdot h \cdot B \cdot \frac{h}{2}, \quad (9)$$

де h – відстань від нейтральної лінії до нижньої розтягнутої фібри балки.

Рівняння НДС прямокутного перерізу в загальному вигляді після перетворень можна представити у вигляді:

$$N(U) - N(N_{1x}) - B \cdot \left[\frac{f_{prism}}{\chi} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \cdot \frac{\varepsilon_1^{k+1} - \varepsilon_2^{k+1}}{\varepsilon_{cf}^k} + \psi_{ct} \cdot f_{ct} \cdot h_t \right] + \sum_{i=1}^m \sigma_{Si} \cdot A_{Si} = 0 \quad (12)$$

$$M(F) + M(q) + M(C) + M(U) + M(G) + M(N_{1x}) + M(N_{1y}) - B \cdot \left[\frac{f_{prism}}{\chi^2} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \cdot \frac{\varepsilon_1^{k+2} - \varepsilon_2^{k+2}}{\varepsilon_{cf}^k} + \psi_{ct} \cdot f_{ct} \cdot \frac{h_t^2}{2} \right] + \sum_{i=1}^m \sigma_{Si} \cdot A_{Si} \cdot d_{Si} = 0, \quad (11)$$

де $N(U), N(N_{1x})$ - поздовжні сили від розпору на торці балки і від горизонтальної складової зусилля в розтяжці; $M(F), M(q), M(C), M(U), M(G), M(N_{1x}), M(N_{1y})$ – моменти відповідно: від зовнішнього зосередженого навантаження; від власної ваги підсиленої балки; від вертикальної дії розвантажуючого зусилля затяжки, прикладеного до нижньої грані балки посередині прольоту; від розпору на торці балки; від вертикальної реакції в шарнірі; від горизонтальної та вертикальної складових зусилля в розтяжці.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано розрахункову схему однопрольотної залізобетонної балки, підсиленої важільно-стрижневою системою (ВСС) з розтягнутими стрижнями у вигляді взаємопов'язаних розтяжок і затяжки, яка описує дійсну роботу під навантаженням.

1. Удосконалено методику розрахунку НДС, несучої здатності і деформативності залізобетонних згинальних елементів, підсиленних запропонованою системою, яка враховує деформовану схему роботи балкового елемента під навантаженням, повну діаграму « σ - ϵ » бетону та уточнену діаграму роботи сталі і базується на інтегрованому визначенні НДС (згин, позацентровий стиск, вигин) кожного перерізу вдовж конструкції на всіх стадіях навантаження до руйнування, що дозволяє з високою точністю та достовірністю моделювати реальну роботу підсиленого згинального елемента.

2. Дію системи важільно-стрижневого підсилення враховано у рівняннях рівноваги додатковими силами реакцій, значення яких залежать від величин переміщень у місцях їх взаємодії зі згинальним елементом. Крім цього, врахована додаткова умова при визначенні несучої здатності конструкції, пов'язана з досягненням межі текучості сталевими елементами системи підсилення.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Бамбура А.Н. Методические указания по уточненному расчету железобетонных элементов с учётом полной диаграммы сжатия бетона/ А.Н. Бамбура, В.Я. Бачинский. - К.: НИИСК Госстроя СРСР, 1987. - 24 с.
2. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Основные положения: ДБН В.2.6-98:2009.- [Действ. от 2011-06-01]. - К., 2011.- 71 с. –(Государственные строительные нормы Украины).
3. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования: ДСТУ Б В.2.6-156:2010.- [Действ. от 2011-06-01]. - К., 2011.- 166 с. –(Национальный стандарт Украины).
4. Пат. 87047 Україна, МПК Е04С 3/00. Регульованообтиснена залізобетонна балка/ Чеканович О.М.; заявник і патентовласник: Чеканович О.М. - №а 200710856; заявл. 10.04.2009; опубл. 10.06.2009, Бюл.№11.