

УДК 624.012.25

РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗГІНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПІДСИЛЕНИХ ВУГЛЕПЛАСТИКОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ, З ВРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ МАЛОЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ, С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ МАЛОЦИКЛОВОЙ НАГРУЗКИ

THE CALCULATING OF CARRYING CAPACITY OF SLOPING SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS STRENGTHENED WITH COAL PLASTIC MATERIALS UNDER REPEATED LOADINGS

Бабич Є.М., д.т.н., проф., Мельник С.В., асистент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Бабич Е.М., д.т.н., проф., Мельник С.В., ассистент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Babich Y.M., doctor of technical sciences, professor, Melnik S.V., assistant (National university of water management and nature resources use, Rivne)

В статті наводиться удосконалена методика ДСТУ Б В.2.6-156:2010 для розрахунку несучої здатності похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсилених вуглепластиковими матеріалами.

В статье приводится усовершенствованная методика ДСТУ Б В.2.6-156: 2010 для расчета несущей способности наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов, усиленных углепластиковыми материалами.

The article presents the improved method DSTU B V.2.6-156: 2010 in order to calculate the carrying capacity of sloping sections bending concrete elements reinforced with coal plastic materials.

Ключові слова:

Бетон, армування, балка, похилий переріз, підсилення, розрахунок.

Бетон, армирование, балка, наклонное сечение, усиление, расчет.

Concrete, reinforcement, beam, sloping section, strengthening, design.

Стан питання та мета дослідження. Зі збільшенням кількості фізично застарілих будівель і споруд, конструкції яких мають експлуатаційні пошкодження та дефекти, виникає необхідність у відновленні або збільшенні їх несучої здатності. До сучасних ефективних та перспективних матеріалів для підсилення згинальних залізобетонних елементів відносять вуглепластикові стрічки та полотна, які наразі набувають широкого застосування.

Вивченню роботи підсиленних залізобетонних конструкцій сучасними композитними матеріалами, в тому числі вуглепластиковими, присвятили свої роботи В. Кваша, І. Мельник, Р. Добрянський, А. Мурин, О. Борисюк, О. Конончук, Я. Римар, В. Чернявський, М. Климпуш, М. Камінська, Р. Катиня, Я. Кубіцкі, Т. Бартошик та ін. Ці та інші дослідники переважно займалися дослідженням роботи нормальних перерізів, підсиленних вуглепластиковими матеріалами. Водночас відсутні будь-які експериментальні дані з роботи похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів, які підсилені вуглепластиками і працюють в умовах малоциклових навантажень.

В чинних нормах проектування залізобетонних конструкцій [1] не розглядається складний напружено-деформований стан похилих перерізів, який виникає при їх підсиленні вуглепластиковими матеріалами. Зазначені норми також не враховують вплив малоциклового навантаження на роботу похилих перерізів.

В зв'язку з наведеним в статті ставиться за мету висвітлити розроблену на підставі експериментальних досліджень удосконалену методику розрахунку несучої здатності похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсиленних вуглепластиковими матеріалами з урахуванням дії малоциклових навантажень.

Об'єм та методика експериментальних досліджень. Виконано експериментальні дослідження 12 залізобетонних балок довжиною 2000 мм та розмірами поперечного перерізу 160×100 мм із бетону класу С30/35.

Армувались балки двома плоскими зварними каркасами, які потім об'єднувались у просторовий. У якості поздовжньої арматури використовувались стержні Ø12 класу А500С, а поперечне армування влаштовувалося із дроту діаметром 3 мм класу Вр-І та кроком $s_w = 75$ мм.

Балки випробовувались як одно пролітні вільно лежачі з розрахунковим прольотом 1800 мм двома зосередженими силами за схемою чистого згину. Докладно конструкція балок та методика випробовувань наведені в роботах [1, 2, 3].

На першому етапі досліджень випробували 8 балок без підсилення. Дві балки випробовували однократним навантаженням до досягнення межі придатності до нормальної експлуатації. За ознаку такого стану приймали розкриття похилих тріщин шириною $w_k = 0,4$ мм або дещо більше за $w_k = 0,4$ мм. Після досягнення такого стану зразки розвантажували. Інші 6 балок випробовували малоцикловим навантаженням різних рівнів, прийнявши за

одиницю контрольне експлуатаційне навантаження, отримане при випробуванні контрольних балок без підсилення.

Після цього виконували підсилення похилих перерізів усіх 12 дослідних балок [4]. Методика випробування 8 балок, які до підсилення навантажувалися, була такою ж як і до підсилення: дві балки – на однократне навантаження, але вже до руйнування, а інші 6 – на малоциклове навантаження з руйнуванням на останньому напівциклі. Решта чотири балки, які до підсилення не навантажувалися, випробовувалися наступним чином: дві – однократним навантаженням, інші дві – малоцикловим навантаженням.

Малоциклове навантаження на підсилені балки прикладали в два етапи. На першому етапі за одиницю приймали контрольне експлуатаційне навантаження, отримане при випробуванні балок до підсилення. На другому етапі за одиницю приймали руйнівне навантаження, отримане при випробуванні підсилених балок. Кількість циклів і рівнів приймали такими ж як і до підсилення.

Підсилення виконувалося згідно передбаченої технології кваліфікованими працівниками фірми Sika з використанням вуглепластикових стрічок (рис. 1 а) і вуглепластикових полотен (рис. 1 б).

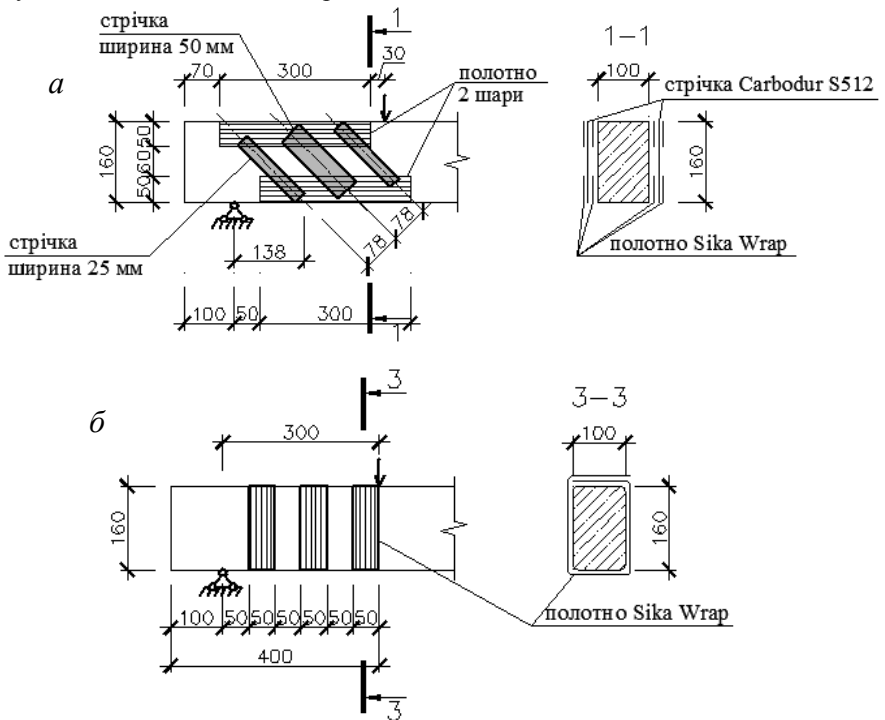


Рис.1 Схеми підсилення дослідних балок вуглепластиковими матеріалами: а – стрічками; б – полотном

Розрахунок несучої здатності похилих перерізів підсилених залізобетонних балок згідно методики чинних норм ДСТУ Б В.2.6-156:2010 пропонується виконувати з врахуванням таких початкових передумов:

- є справедливою гіпотеза плоских перерізів;
- наклеєні в зоні дії максимальних поперечних сил полотна та стрічки працюють як додаткове зовнішнє армування;
- система «залізобетонна балка – приклеєні елементи підсилення – клей» працює сумісно.

Виходячи з розрахункової схеми, яка використана в [5], та вище розглянутих передумов, розрахункову поперечну силу $V_{Rd,sf}$, яку може сприйняти залізобетонний елемент, підсилений зовнішньою вуглепластиковою поперечною арматурою, необхідно визначати за формулою

$$V_{Rd,sf} = V_{Rd,s} + V_{Rd,f}, \quad (1)$$

де $V_{Rd,s}$ – поперечна сила, яку сприймає внутрішня поперечна арматура (у випадку її відсутності $V_{Rd,s}=0$);

$V_{Rd,f}$ – поперечна сила, яку сприймає зовнішня поперечна арматура (елементи підсилення).

При цьому, розрахункова поперечна сила $V_{Rd,sf}$, визначена за формулою (1), не повинна перевищувати максимальну поперечну силу $V_{Rd,max}$, яка відповідає граничній міцності стиснутого умовного бетонного розкосу і визначається за формулою (позначення прийняті згідно з [5])

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta). \quad (2)$$

Методика розрахунку [5] не враховує складний напружено-деформований стан похилих перерізів, підсилених вуглепластиками, що можна уникнути шляхом застосуванням додаткових уточнюючих формул та коефіцієнтів.

Пропонується приймати за граничний експлуатаційний стан похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів досягнення деформаціями зовнішньої вуглепластикової поперечної арматури граничних значень, які рекомендується прийняти рівними $\varepsilon_{sw,fud} = 400 \times 10^{-5}$. Як показали результати експериментальних досліджень, така величина граничних деформацій справедлива для тих згинальних залізобетонних конструкцій, в яких елементи підсилення наклеєні з чотирьох сторін перерізу елемента (у вигляді обойми).

Граничне розрахункове значення відносних деформацій зовнішньої вуглепластикової поперечної арматури $\varepsilon_{sw,fud}$, яка не охоплює весь переріз елемента, а наклеєна лише з двох або трьох сторін, пропонується визначати за формулою, наведеною в [6],

$$\varepsilon_{sw,fud} = k_v \cdot \varepsilon_{ft} \leq 0,004, \quad (3)$$

де k_v – коефіцієнт надійності за зчепленням системи підсилення з бетоном;

ε_{ft} – розрахункова деформація розтягу вуглепластикового матеріалу.

Коефіцієнт надійності за зчепленням k_v залежить від міцності бетону, типу схеми наклеювання і модуля пружності вуглепластикового матеріалу. Його значення пропонується визначати за формулою [6]

$$k_v = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot L_f}{11900 \cdot \varepsilon_{ft}} \leq 0,75. \quad (4)$$

Необхідна довжина анкерування L_f визначається за виразом

$$L_f = \frac{23300}{(n \cdot t_f \cdot E_f)^{0,58}}, \quad (5)$$

де n – кількість шарів наклеєного вуглепластикового матеріалу;

t_f – товщина наклеєного вуглепластикового матеріалу;

E_f – модуль пружності наклеєного вуглепластикового матеріалу.

Коефіцієнти k_1 і k_2 , які враховують міцність бетону і тип схеми наклеювання, визначаються за наступними формулами:

$$k_1 = \left(\frac{f_{cd}}{27} \right)^{2/3}; \quad (6)$$

$$k_2 = \frac{d_f - L_f}{d_f} \text{ – для наклеювання з трьох сторін;}$$

$$k_2 = \frac{d_f - 2 \cdot L_f}{d_f} \text{ – для наклеювання з двох сторін,} \quad (7)$$

де d_f – визначається згідно з рис. 2.

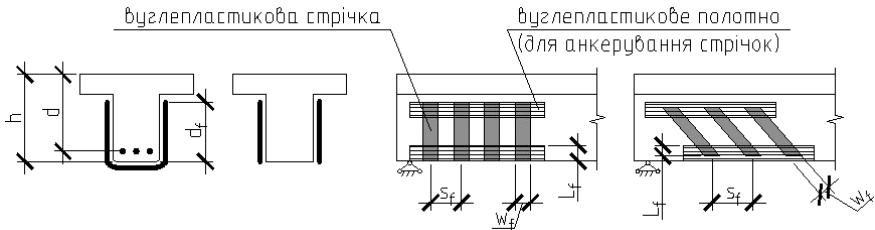


Рис. 2. Для розрахунку залізобетонних елементів, підсиленних зовнішньою вуглепластиковою поперечною арматурою

Таким чином, умовний розрахунковий опір зовнішньої вуглепластикової поперечної арматури визначається з умов граничних деформацій за формулою:

$$f_{yw} = \varepsilon_{sw, fud} \cdot E_f, \quad (8)$$

де $\varepsilon_{sw, fud}$ – гранична деформація розтягу зовнішньої вуглепластикової поперечної арматури при підсиленні похилих перерізів;

E_f –модуль пружності зовнішньої вуглепластикової поперечної арматури.

Для розрахунку несучої здатності похилих перерізів підсиленних залізобетонних елементів також пропонується ввести коефіцієнти: γ_{sw} , γ_{cl} та γ_{cycl} :

- коефіцієнт γ_{sw} – враховує ступінь використання розрахункової міцності внутрішньої поперечної арматури при підсиленні похилих перерізів зовнішньою вуглепластиковою поперечною арматурою. На основі власних результатів експерименту та даних інших дослідників [6, 7] були рекомендується приймати наступні значення коефіцієнту γ_{sw} : $\gamma_{sw}=0,75$ – для елементів, у яких зовнішня вуглепластиковою поперечна арматура наклеєна з двох або трьох сторін; $\gamma_{sw}=1,0$ – для елементів, у яких зовнішня вуглепластиковою поперечна арматура наклеєна з чотирьох сторін (охоплює весь переріз елемента);

- коефіцієнт γ_{cl} – враховує зменшення міцності бетону при виконанні підсилення похилих перерізів з тріщинами без застосування спеціальних ремонтних сумішей. На основі результатів експерименту, рекомендується приймати наступні значення коефіцієнту γ_{cl} : $\gamma_{cl}=0,95$ – для елементів, у яких підсилення похилих перерізів з тріщинами виконувалося без застосування спеціальних ремонтних сумішей; $\gamma_{cl}=1,0$ – для елементів, у яких підсилення похилих перерізів з тріщинами виконувалося із застосування спеціальних ремонтних сумішей або наклеювання елементів підсилення виконувалося на поверхню «нового» (не пошкодженого) бетону;

- коефіцієнт γ_{cycl} – враховує зменшення несучої здатності похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів внаслідок дії малоциклових навантажень. Значення коефіцієнта γ_{cycl} після кожного циклу навантаження відповідного рівня пропонується визначати за формулою

$$\gamma_{cycl} = 1 - \frac{\varepsilon_{s1,cyc} \cdot (\varepsilon_{si,cyc} - \varepsilon_{s1,cyc})}{\varepsilon_{ud}}, \quad (9)$$

де $\varepsilon_{s1,cyc}$ – відносні деформації внутрішньої поперечної арматури на першому циклі навантаження відповідного рівня;

$\varepsilon_{si,cyc}$ – відносні деформації внутрішньої поперечної арматури на i -му циклі навантаження відповідного рівня;

ε_{ud} – граничні відносні деформації арматури розтягу.

За формулою (9) оброблені результати експериментальних досліджень побудований графік залежності коефіцієнту γ_{cycl} залежно від відносного рівня повторних навантажень (рис. 3).

Враховуючи вище наведене, несучу здатність похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів, які в припорних ділянках підсилені зовнішньою вуглепластиковою поперечною арматурою і працюють в умовах малоциклового навантаження, згідно удосконаленої методики необхідно визначати за наступними залежностями:

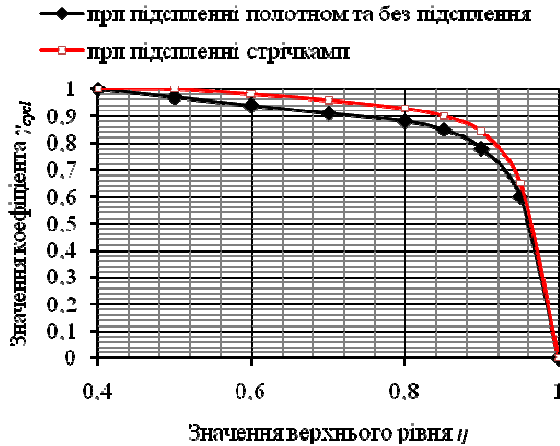


Рис. 3. Залежності коефіцієнту зменшення несучої здатності похилих перерізів від рівня малоциклового навантаження

Враховуючи вище сказане, несучу здатність похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів, які в припорних ділянках підсилені зовнішньою вуглепластиковою поперечною арматурою і працюють в умовах малоциклового навантаження, згідно удосконаленої методики [1] необхідно визначати за наступними залежностями:

$$V_{Rd,sf,cycl} = (V_{Rd,s} \cdot \gamma_{sw} + V_{Rd,f}) \cdot \gamma_{cycl}; \quad (10)$$

$$V_{Rd,max,cycl} = V_{Rd,max} \cdot \gamma_{cl} \cdot \gamma_{cycl}; \quad (11)$$

$$V_{Rd,nidc.} = V_{Rd,sf,cycl} \leq V_{Rd,max,cycl}. \quad (12)$$

Для визначення несучої здатності похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсилені вуглепластиковими матеріалами, з урахуванням дії мало циклового навантаження необхідно знайти складові, які входять у формули (10) і (11) та перевірити умову (12).

Поперечна сила, яку може сприйняти внутрішня поперечна арматура, згідно з [5] визначається за формулою

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_w} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \tan \alpha_1) \cdot \sin \alpha_1, \quad (13)$$

а поперечну силу, яку сприймає зовнішня поперечна арматура, за формулою

$$V_{Rd,f} = \frac{A_{fw}}{s_f} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \tan \alpha_2) \cdot \sin \alpha_2. \quad (14)$$

Визначаємо поперечну силу, яку сприймають умовні стиснуті бетонні розкоси:

$$V_{Rd,max,cycl} = [\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)] \cdot \gamma_{fl} \cdot \gamma_{cycl} \quad (15)$$

За розрахункове значення поперечної сили $V_{Ed,cycl}$, яку може сприймати похилий переріз залізобетонного елемента, підсилений зовнішньою вуглепластиковою поперечною арматурою, приймається менша із величин, обрахованими за формулами (10) і (11). У випадку, якщо величина $V_{Rd,sf,cycl}$ перевищує $V_{Rd,max,cycl}$, значення $\cot\theta$ необхідно зменшити (початкове значення $\cot\theta$ приймається рівним 2,5) таким чином, щоб виконувалася умова

$$V_{Rd,sf,cycl} \leq V_{Rd,max,cycl} \quad (16)$$

Підрасхована несуча здатність похилих перерізів балок, підсилених вуглепластиковими матеріалами, за запропонованою удосконаленою методикою має задовільну збіжність з результатами експериментальних досліджень.

Висновок. Запропонована удосконалена методика дає можливість визначати несучу здатність похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсилених вуглепластиковими матеріалами, з урахуванням дії малоциклових навантажень.

1. Борисюк О.П. Дослідження роботи підсилених залізобетонних балок при дії малоциклових навантажень / Борисюк О.П., Конончук О.П., Мельник С.В., Петришин В.М. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2008. – Вип. 17. – С. 404 – 410. 2. Мельник С.В. Дослідження несучої здатності похилих перерізів залізобетонних балок, підсилених наклеєними вуглепластиковими матеріалами //С.В. Мельник/ Зб. наук. пр. Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2012. – Вип. 2(32), Том 1. – С. 151-158. 3. Бабич. Є.М. Методика випробування підсилених за похилими перерізами згинальних залізобетонних елементів при малоциклових навантаженнях високого рівня / Є.М. Бабич, С.В. Мельник // Будівельні конструкції: Міжвід. наук.-тех. зб. наук. праць. – Київ: ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74. - Кн. 1. – С. 172-179. 4. Борисюк О.П. Підсилення згинальних залізобетонних конструкцій сучасними матеріалами / О.П. Борисюк, С.В. Мельник // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне, 2010. – Вип. 20. – С. 459 - 465. 5. ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування // Мінрегіонбуд України, Київ, 2010. – 166с. 6. Чернявський В.Л. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами / В.Л. Чернявський, Ю.Г. Хаютин, Е.З. Аскельрод, В.А. Клевцов, Н.В. Фаткуллин. – М.: ООО «ИнтерАква», 2006. – 113 с. 7. Шилин А.А. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами / А.А. Шилин, В.А. Пшеничный, Д.В. Каргузов // М: Стройиздат, 2007. – 184 с.