

УДК 624.012. 035

**МЕТОДИ ОЦІНКИ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ НА ДІЛЯНКАХ ДІЇ
МАКСИМАЛЬНИХ ПОПЕРЕЧНИХ СИЛ**

І. Ковалик, асистент

Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Сьогодні і в найближчому майбутньому залізобетон у нашій країні залишається найважливішим конструктивним матеріалом будівництва, що можна пояснити великим запасом сировини для виготовлення в'язучих та заповнювачів, високими конструктивними та експлуатаційними якостями залізобетону та його надійністю [1-4; 6; 7].

Переважно дослідження залізобетонних конструкцій присвячували вивченню їх роботи під дією згинального моменту. Водночас практично всі залізобетонні конструкції так чи інакше сприймають поперечну силу. Для більшості таких конструкцій розрахунки деформативності й тріщиноустійкості вирішальні під час визначення розмірів перерізу, поперечного та поздовжнього армування. Проте проблема опору похилих перерізів досі залишається остаточно не вирішеною, особливо у випадках підсилення.

Через невирішеність питання опору похилих перерізів залізобетонних елементів сил у сучасній проектній практиці використовують дуже наближені методи розрахунку, що призводить в одних випадках до істотної перевитрати матеріалів і ускладнення армування, в інших – до недостатньої надійності конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження проблеми дії поперечних сил у залізобетоні, проведені у другій половині ХХ століття, дали змогу виявити нові фактори, що впливають на міцність похилих перерізів залізобетонних згинальних елементів. На підставі результатів численних експериментальних досліджень складена картина тріщиноутворення балок, випробовуваних на дію поперечної сили, як з поперечною арматурою, так і без неї [3; 4; 6; 7].

Складене чітке уявлення про внутрішні зусилля, що діють на приопорну частину елемента: зусилля в бетоні стиснутої зони над вершиною критичної похилої тріщини; осьове і нагельне зусилля в поздовжній арматурі в місці її перетину критичною похилою тріщиною; осьове і нагельне зусилля в поперечній арматурі в місцях її перерізу критичною похилою тріщиною; сили зачеплення. Опір залізобетонних елементів дії поперечних сил – одна з основних проблем теорії залізобетону.

Зазначеній проблемі присвячені чимало робіт вітчизняних авторів, таких як: Бабич Є. М., Барашиков А. Я., Бачинський В. Я., Борисшанський М. С., Васильєв П. І., Гвоздев О. О., Генієв Г. А., Дорофєєв В. С., Зайцев Ю. В., Залесов О. С., Ільїн О. Ф., Карпенко М. І., Карпюк В. М., Клімов Ю. А., Митрофанов В. П., Пірадов О. Б., Пірадов К. А., Шеховцов І. В., Дорошкевич Л. О., Ониськів Б. М., Гладишев Г. М., Мазурак А. В., Боднарчук Т. Б. та ін.

Постановка завдання. Завдання дослідження – визначення експериментальним і теоретичним шляхами параметрів несучої здатності похилих перерізів залізобетонних балкових елементів.

Виклад основного матеріалу. Для теоретико-експериментальних досліджень використано методики оцінки несучої здатності похилих перерізів, які базувалися за визначеними методиками, що відповідають чинним нормам, іноземним нормативним документам, а також пропозиціям з розрахунку окремих авторів.

Методики розрахунку аналізуватимемо за моделями залізобетонних балок на важкому бетоні п'яти серій із поперечним перерізом 240 x 80 мм завдовжки 2300 мм до та 240 x 120(160) мм після підсилення. Загальна кількість балок становила 23 штуки. Балки об'єднували в серії залежно від кількості поперечної арматури та плеча прикладання сили. Метою дослідження було визначення впливу зусилля несучої здатності за похилими перерізами. Руйнування в балках відбувалося змінанням бетону в приопорній зоні, досягненням текучості поперечної чи поздовжньої арматури, розриву арматури, що унеможливує подальше навантаження.

Прийнятою до розрахунку була методика нормативних документів ДБН В.2.6-98:2009 та ДСТУ Б В.2.6-156:2010, які набули чинності на території України 2011 року.

Основним принципом розрахунку є визначення несучої здатності елементів, які не потребують розрахункового поперечного армування та елементів із вертикальним поперечним армуванням. Опором зсуву слугує менша з величин, що визначається як:

– поперечна сила, котру може сприйняти поперечна арматура за умови, що напруження в ній досягають межі текучості:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta; \quad (1)$$

– максимальна поперечна сила, котру можуть сприйняти стиснуті розкоси:

$$V_{Rd,max} = b_w z V_1 f_{ywd} / (\cot \theta + \tan \theta), \quad (2)$$

A_{sw} – площа поперечної арматури; s - крок поперечних стрижнів;

f_{ywd} – розрахунковий опір текучості поперечної арматури; a_{cw} – коефіцієнт врахування напруження в поясі; v_1 – коефіцієнт зменшення міцності бетону з тріщинами при зсуві.

Відповідно до норм розрахунку елементів з поперечною арматурою, поряд із загальною деформаційною моделлю рекомендується використовувати «фермову модель». У верхньому поясі такої ферми бетон створює стиснуту зону, в нижній зоні – розтягнута арматура. Пояси ферми з'єднані стрижнями, де ці стрижневі елементи є поперечною арматурою, а стиснуті – уявні бетонні розкоси, кут нахилу яких може змінюватися.

Беручи до уваги широкий аналіз розрахунку методом «фермової аналогії», що покладений в основу чинних норм, вони не враховують сукупність факторів, які суттєво впливають на несучу здатність похилого перерізу. Це приводить до істотного заниження несучої здатності залізобетонних елементів у похилих перерізах.

Визначення несучої здатності балок із поперечними стрижнями через розрахункові залежності були основою розрахунку за похилими перетинами нормативних документів у СНиП 2.03.01.-84*. Така методика розрахунку була прийнята для оцінки несучої здатності перерізів залізобетонних елементів, похилих до поздовжньої осі.

Практично несучу здатність похилого перерізу залізобетонного елемента визначали за поперечною силою в нормальному перерізі залізобетонної конструкції залежно від плеча прикладання сили, що знаходиться над початком тріщин, і зусилля, які діють в арматурі у межах довжини похилого перерізу. Зазвичай розрахункове зусилля несучої здатності похилих перетинів записували:

$$Q \leq Q_b + Q_s, \quad (3)$$

де Q_b – граничне зусилля, що сприймається бетоном; Q_s – зусилля, що сприймається поперечною арматурою і відігнутими стрижнями.

У межах похилого перерізу, який розглядається, поперечну силу, що сприймається бетоном, записували так:

$$Q_b = \frac{2R_{br}bh_0^2}{c} \quad (4)$$

Для елементів із поперечним армуванням у вигляді хомутів, розміщених нормально до поздовжньої осі, зусилля в хомутах, які перетинаються похилим перерізом, було виражене:

$$Q_{sw} = q_{sw}c, \quad (5)$$

де q_{sw} – граничне зусилля в хомутах на одиницю довжини елемента в межах похилого перетину; C – критична довжина горизонтальної проекції похилого перерізу.

Аналізуючи описані розрахункові залежності СНиП 2.03.01.-84*, було встановлено, що низка значень емпірична, і для їх визначення вводили кілька обмежень. Ці обмеження зумовлені порівнянням розрахункових і дослідних значень, які приводили до постійного вдосконалення методу рівноваги граничних зусиль у похилому перетині, яка зводилася до підвищення точності розрахунку, наближуючи їх до дослідних, хоча й не забезпечувала потрібної точності розрахунку.

Американські нормативні документи АСІ 318-95 оцінюють зрізні розрахункові напруження в приораних зонах конструкцій з урахуванням плеча прикладання сили, робочої висоти перерізу, яку можна розділяти на зони розтягу і стиску. Поперечну силу позначають V_u та знаходять за виразом (6), відповідно до якого V_u отримують як алгебраїчну суму несучої здатності бетону V_c та арматури V_s :

$$V_u = V_c + V_s \quad (6)$$

Визначення розрахункової поперечної сили полягає в таких залежностях. Несучу здатність бетону визначають:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c b_w d}}{6}, \quad (7)$$

де f'_c – циліндрична міцність бетону.

Поперечна сила, що сприймається усіма видами вертикальної та похилої арматури, повинна задовольняти умову:

$$V_s = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) z f_{yw} d \leq 0.66 \frac{\sqrt{f'_c b_w d}}{6} \quad (8)$$

Поперечна сила, що сприймається тільки вертикальними стрижнями:

$$V_{s.d.} = \frac{A_{sw} f_{yw} d}{s} \quad (9)$$

До загальної розрахункової схеми входить понижуючий коефіцієнт несучої здатності $\phi = 0,85$, якщо міцність бетону на зріз більша від загальної суми складових.

Введення в розрахунок емпіричних залежностей з пониження несучої здатності похилих перерізів призводить до неточних результатів експериментальних даних, що свідчить про неможливість точного визначення реальної кінцевої несучої здатності конструкції.

Прийнята для розрахунку методика Л.О Дорошкевича пропонує

виконувати розрахунок поперечної арматури на дію умовних зрізних напружень τ_0 , як це було прийнято в СНиП 2.03.01.-84* та в Eurocod 2, на дію приросту згинального моменту з урахуванням правила зміщення епюри M , вважають, що залізобетонна балка може руйнуватися або за вертикальним перерізом (M) за досягнення текучості в поздовжній арматурі, або за похилим перерізом за навантажень в арматурі $\sigma_s \leq R_s$. Тому, спроектувавши по осі ординат згинальний момент, а по осі абсцис довжину, отримуємо поперечну силу:

$$\frac{\Delta M}{\Delta x} = \operatorname{tga} = Q, \quad (10)$$

де ΔM – приріст згинального моменту на довжині абсциси Δx ; Q – поперечна сила.

Проблемою в розрахунку є визначення необхідної кількості поперечної арматури, щоб забезпечити зразки від передчасного руйнування по похилих перерізах, тобто довести поздовжню арматуру до текучості.

На думку багатьох учених, найперспективнішим для розробки сучасного інженерного розрахунку похилих перерізів є метод граничної рівноваги, котрий дає змогу перейти від різних умовностей і аналогій до реальної роботи елемента й оцінювання його несучої здатності за фактичними зусиллями, котрі діють на стадії руйнування.

Методики розрахунку несучої здатності залізобетонних елементів, похилих до поздовжньої, виконані в Національному університеті водного господарства та природокористування (автори – Масюк Г.Х., Корнійчук О.І.), полягають у такому:

$$V_{Rd} = Q_u = (Q_{b1} \cdot \gamma_{c1} + Q_{sw} \cdot \gamma_{sw} + Q_{fw} + Q_s + F_{crc} \cdot \sin \theta) \cdot \gamma, \quad (11)$$

де Q_{b1} – поперечна сила, яку сприймає бетон над критичною похилою тріщиною Q_{sw} ; Q_{fw} – поперечна сила, що сприймається відповідно внутрішньою й зовнішньою поперечною арматурою; F_{crc} – величина зусилля зчеплення в похилій тріщині, визначається за вдосконаленою формулою В.П. Митрофанова; Q_s – поперечна сила, яку сприймає поздовжня арматура («нагельний ефект»); γ – введені коефіцієнти умов роботи.

Із висновків авторів, фізичною моделлю розрахунку прийнята диско-в'язева модель, запропонована О.С. Залесовим та Ю.А. Климовим і розвинута А.О. Дмитренком. Ця модель розрахунку показує високу збіжність теоретичних та експериментальних значень, отриманих під час визначення несучої здатності похилих перерізів. Проте така модель

розроблена на основі вже не діючих нормативних документів, і на сьогодні може використовуватися тільки у вигляді пропозицій чинних норм.

Висновки. Провівши теоретико-експериментальний аналіз досліджень несучої здатності елементів, похилих до поздовжньої осі відповідно до нормативних документів України ДБН В.2.6.-98:2009 [5-6], США АСІ 318-95 [8], колишніх норм СНиП 2.03.01-84* [7] та методики Л. Дорошкевича [10], можна дійти висновку, що підходи до визначення несучої здатності за поперечною силою істотно відрізняються один від одного та мають принципові розбіжності в методиці розрахунку. Результатом цього стала незбіжність між собою різних методик розрахунку.

Узявши за приклад серію дослідних зразків, де підсилення проводили збільшенням поперечного перерізу шаром торкретбетону та вкладанням металевого каркаса, ми побачили, що експериментальні значення, отримані в лабораторних умовах під час випробування, становили 107,4 кН, а теоретичні значення несучої здатності, елементів похилих до поздовжньої осі за ДБН В.2.6.-98:2009 – 55,3 кН, за СНиП 2.03.01-84* – 102,4 кН, за норми АСІ 318-95 – 107,1 кН, та за методикою Л. Дорошкевича – 71,4 кН.

Переоцінку між теоретичними значеннями несучої здатності похилих перерізів за ДБН В.2.6.-98:2009 над результатами, отриманими під час випробування лабораторних досліджень, можна враховувати в межах, що становить 41-56%. Важливим зауваженням є те, що складова частка бетону не входить в отримання загальної несучої здатності похилих перерізів.

Розрахункові значення отриманих за методикою СНиП 2.03.01-84* непідсиленних і підсиленних балкових зразків показують задовільну збіжність з експериментальними значеннями в межах 6-10%. На нашу думку, використання принципів граничної рівноваги потрібно брати до уваги під час дослідження похилих перерізів, оскільки емпіричні залежності на основі великого статистичного аналізу показують досить реальну несучу здатність конструкцій.

У роботі з американськими нормативними документами АСІ 318-95 збіжність результатів становить 1-22%. Запропонована методика розрахунку похилих перерізів з урахуванням суми несучої здатності бетону V_c та арматури V_s показує хороші розрахункові результати, проте збільшення або зменшення несучої здатності за поперечною силою з допомогою емпіричних коефіцієнтів може впливати на отримані результати.

Розрахункові значення, отримані за методикою Л.Дорошкевича, показують збіжність результатів у межах 34 – 36%. Проте визначення необхідної кількості поперечної арматури створює проблеми в оцінці несучої здатності конструкції та підбору плеча прикладання сили.

На нашу думку, необхідне проведення експериментальних досліджень залізобетонних елементів, та порівняння їх з методикою розрахунку, яка враховуватиме всі складові напруженого стану конструкції, оскільки сьогодні методики чинних нормативних документів створюють істотну переоцінку несучої здатності.

Бібліографічний список

1. Бабич Є. М. Методика випробування підсилених за похилими перерізами згинальних залізобетонних елементів при малоциклових навантаженнях високого рівня / Є. М. Бабич, С. В. Мельник // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону : міжвід.наук.-техн. зб. – К. : ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74, кн. 1. – С. 172-179.
2. Барашиков А. Я. Експериментальні дослідження згинаних залізобетонних елементів, підсилених різними способами / А. Я. Барашиков, О. П. Сумак, Б. А. Боярчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівель і споруд : зб. наук. пр. – Рівне : РДТУ, 2000. – № 5. – С. 294-297.
3. Міцність та деформативність залізобетонних балок, підсилених після впливу агресивного середовища / З. Я. Бліхарський, Р. В. Вашкевич, Р. Є. Хміль та ін. // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: міжвід. наук.-техн. зб. – К. : ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74, кн. 2. – С. 28-35.
4. Гольшев А. Б. Проектирование усиленных железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений / А. Б. Гольшев, И. Н. Ткаченко. – К. : Логос, 2001. – 172 с.
5. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – [Чинний від 2011-06-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 116 с. – (Національний стандарт України).
6. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).
7. СНиП 2.03.01-84* Бетонные железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 77 с.
8. ACI 318-95. Building Code Requirements for Reinforced Concrete. ACI 318-95 and Commentegeru (318-95R). – American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1995-369 p.
9. Масюк Г.Х. Задачі та методика експериментальних досліджень міцності та тріщиностійкості похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів, що зазнають впливу малоциклового знакозмінного навантаження / Г. Х. Масюк, О. І. Корнійчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2006. – Вип. 14. – С. 246–252.
10. Новий підхід до розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних згинаних елементів / Дорошкевич Л. О., Максимович С. Б., Демчина Б. Г., Максимович Б. Ю. // Теорія і практика будівництва // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» : зб. наук. пр. – 2012. – № 737. – С. 91-100.

Ковалик І. Методи оцінки несучої здатності залізобетонних елементів на ділянках дії максимальних поперечних сил

Описані теоретико-експериментальні дослідження та аналіз досліджень несучої здатності залізобетонних елементів за похилими перерізами.

Ключові слова: несуча здатність, похилий переріз, залізобетонна балка.

Kovalik I. Methods for assessing the bearing capacity of concrete elements in areas of maximum transverse force action

Described theoretical and experimental research and analysis of research bearing capacity of concrete elements by sloping sections.

Key words: bearing capacity, advanced-section reinforced concrete beam.

Ковалык И. Методы оценки несущей способности железобетонных элементов на участках действия максимальных поперечных сил

Описанные теоретико-экспериментальные исследования и анализ исследований несущей способности железобетонных элементов по наклонным сечениям.

Ключевые слова: несущая способность, наклонное сечение, железобетонная балка.