

УДК 624. 012. 035

**РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ІЗ ЗОВНІШНІМ
СТРІЧКОВИМ АРМУВАННЯМ НА ДІЮ ПОПЕРЕЧНИХ СИЛ
МЕТОДОМ ФЕРМОВОЇ АНАЛОГІЇ**

*Т.Боднарчук, к.т.н., С.Нікіфоряк, асистент
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку Україна з метою інтегрування в європейську спільноту переймає як культурний, так і науковий досвід наших західних сусідів. Останні нормативні документи в галузі будівництва є підтвердженням цієї тенденції. Розглянемо нові вимоги, до розрахунку та проектування бетонних і залізобетонних конструкцій, які наближають національну нормативну базу до Єврокоду-2. Зупинимось детально на питанні розрахунку несучої здатності похилих перерізів залізобетонних згинаних елементів зі стрижневою та стрічковою поздовжньою арматурою з вертикальними поперечними стрижнями (хомутами).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У різних країнах світу методи розрахунку несучої здатності похилих перерізів принципово різняться. Один із підходів базується на аналогіях, які розглядають залізобетонний елемент як розкїсну ферму чи арку. Саме метод фермової аналогії покладено в основу європейських норм. В іншому підході, який використовують у США та Канаді, використано метод критичної тріщини. Принципово новим підходом є метод кінцевих елементів, що враховує вплив процесу тріщиноутворення на напружено-деформований стан похилого перерізу. У нашій країні для оцінки міцності похилих перерізів використовували метод граничної рівноваги [4]. Саме такий підхід давав змогу без усяких умовностей та аналогій описати реальну роботу елементів і визначити несучу здатність за максимальними зусиллями, що діють на стадії руйнування.

Згідно з ДБН В.2.6.-98:2009 розрахунок несучої здатності похилих перерізів залізобетонних елементів пропонується виконувати на основі загальної деформаційної моделі з урахуванням плоского напруженого стану, але в ДСТУ Б В.2.6-156:2010 наведена лише методика, що базується на використанні фермової моделі. В основі цього методу лежить аналогія між роботою розкїсної ферми та залізобетонного елемента, що працює на сприйняття поперечних сил, де верхній пояс ферми утворює бетон стиснутої зони, нижній – розтягнута арматура, розтягнуті розкоси – у вигляді поперечної арматури, а стиснені – бетонні смуги, кут яких змінюється. Цей

метод не враховує реального напружено-деформованого стану залізо-бетонного елемента і дуже наближено визначає зусилля в бетоні та арматурі.

Поперечна сила, яку може прийняти поперечна арматура (розтягнутий розкіс), досягнувши границі текучості, дорівнює:

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

Стиснуті розкоси сприймають поперечне зусилля, яке визначається з виразу

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z \gamma_1 f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}. \quad (2)$$

За опір зсуву для бетонного елемента приймають менше з двох значень, обчислених за формулами (1) та (2). Тобто у розрахунку не врахована спільна робота поперечної арматури та бетону. Фактично вираз (1) – це розрахунок на міцність поперечного перерізу по похилій тріщині, а вираз (2) – розрахунок міцності похилої смуги між похилими тріщинами.

Постановка завдання. Оскільки метою нашого дослідження є оцінка несучої здатності сталобетонних балок за новими нормативними документами, для аналізу були вибрані балки з дисертаційної роботи автора [1]. Сталобетонні згинані елементи – балкові конструкції, в яких у розтягнутій зоні, а іноді й у стиснутій, застосовується стрічкова арматура [5]. Перспективність їх використання зумовлена розширенням сфери застосування залізобетону та економічними можливостями цього напрямку. Це особливо актуально в умовах різкого здорожчання енергоносіїв.

Виклад основного матеріалу. Для аналізу розрахункового апарату нових нормативних документів було пораховано 8 залізобетонних балок зі стрижневою арматурою та 8 балок-близнюків зі стрічковою арматурою з рифленою поверхнею. Усі балки виготовлені з високоміцного важкого бетону без попереднього напруження з кроком поперечної арматури 90 мм та 120 мм. Прогін балок – 2000 мм, довжина – 2300 мм, ширина – 120 мм, висота – 240 мм. Плече прикладання сил коливалося від $1,5d$ до $3,5d$ [1].

Як показав аналіз результатів розрахунків згідно з ДБН В.2.6.-98:2009 [2] та порівняння їх з експериментальними даними (загалом 16 зразків), методика ДСТУ Б В.2.6-156:2010 занижує несучу здатність похилого перерізу в 1,4-3 рази (табл. 1). Як видно з графіка (рис. 1), особливо велика розбіжність виникає за малого плеча зрізу $1,5d$. Із збільшенням останнього значення експериментальних і теоретичних результатів зближуються, хоча варто зазначити, що для θ його значення переважно було меншим за граничне $21,8^\circ$, тому доводилося в розрахунках приймати максимально можливе $\cot \theta = 2,5$. Такі великі розбіжності між теоретичними й дослідними результатами не дають підстав говорити про якісну оцінку несучої здатності сталобетонних балок, оскільки зазначена методика дає неточну оцінку всіх

залізобетонних елементів незалежно від виду поздовжнього армування (див. рис.1).

Якщо говорити про оцінку несучої здатності за СНиП 2.03.01-84*, то розбіжність між теоретичними та експериментальними даними не перевищує 15%. Хоча інколи несуча здатність за [4] дає завищені результати порівняно з дослідними даними.

Таблиця 1

Порівняння несучої здатності залізобетонних балок, отриманої експериментальним шляхом, за ДБН В.2.6-98:2009 та СНиП 2.03.01-84*

Шифр балки	Плече зрізу	Несуча здатність, кН		
		дослідна	СНиП 2.03.01-84*	ДБН В.2.6-98:2009
БЛ-9-1,5	1,5h	135	146	39,9
БС-9-1,5	1,5h	140	124	39,9
БЛ-90-1	1,5h	120	122	39,9
БЛ-90-2	2h	110	113	53,2
БЛ-9	2,5h	100	109	59,10188
БС-9	2,5h	100	97	52,36875
БЛ-9-3,5	3,5h	82,5	93	59,10188
БС-9-3,5	3,5h	77,5	84	52,36875
БЛ-12-1,5	1,5h	120	131	29,925
БС-12-1,5	1,5h	130	109	29,925
БЛ-120-1	1,5h	110	113	29,925
БЛ-120-2	2h	90	101	39,9
БЛ-12	2,5h	85	100	44,32641
БС-12	2,5h	90	87	39,27656
БЛ-12-3,5	3,5h	70	88	44,32641
БС-12-3,5	3,5h	80	77	39,27656

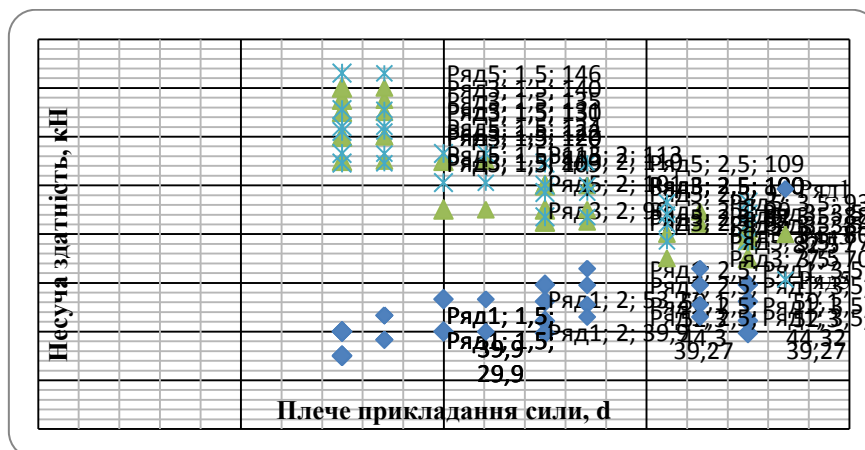


Рис. 1. Залежність несучої здатності елементів V_{ed} (кН) від довжини прогону зрізу a/d :

ряд 1 – теоретичні дані згідно з ДСТУ Б В.2.6-156:2010;

ряд 3 – дані експериментальних досліджень, ряд 5 – несуча здатність за СНиП 2.03.01-84*.

Розглянемо також методику розрахунку залізобетонних перерізів, похилих до поздовжньої осі, в елементах, що не потребують розрахункового поперечного армування. Згідно з ДБН В.2.6.-98:2009 [2] розрахунок несучої здатності похилих перерізів залізобетонних елементів без поперечного армування запропоновано визначати за формулою 4.36 [3]:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\sqrt{3}} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d . \quad (3)$$

Фактично це зусилля, яке може сприйняти бетон у перерізі залізобетонної балки. Щоб оцінити, наскільки точно такий розрахунковий апарат відтворює несучу здатність бетонних балок, проведемо порівняльний аналіз теоретичних розрахунків з даними експерименту.

Для розрахунків було взято чотири залізобетонні балки зі стрижневою арматурою та вісім балок зі стрічковою арматурою з рифленою поверхнею. Усі балки були виготовлені з високоміцного важкого бетону без попереднього напруження та без поперечної арматури. Прогін балок – 2000 мм, довжина – 2300 мм, ширина – 120 мм, висота – 240 мм. Плече прикладання сили $2,5d$ [1].

Теоретичні розрахунки показують, що ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 [3] дає значний запас міцності (30-50 %) для сталобетонних балок без поперечного армування і 35-49 % для аналогічних залізобетонних (табл. 2). Якщо порівняти результати експериментальних даних з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* [4], то запас міцності складає 17-47% для сталобетонних балок і 41-55% для залізобетонних (рис. 2). Зважаючи на раптовий характер

руйнування залізобетонних балок без поперечного армування, такий запас міцності необхідний для надійної роботи конструкцій. Отже, нормативні джерела добре оцінюють як залізобетонні, так і сталебетонні балки без поперечного армування.

Таблиця 2

Порівняння несучої здатності залізобетонних балок без поперечного армування, отриманої експериментальним шляхом, за ДБН В.2.6-98:2009 та СНиП 2.03.01-84*

Шифр балки	Поздовжня арматура	Несуча здатність, кН		
		дослідна	СНиП 2.03.01-84*	ДБН В.2.6-98:2009
1	2	3	4	5
БЛУ-0а	120х6	50	37,2	32,06663
БЛУ-0б	120х6	50	37,2	32,06663
БЛ-0	120х6	55	37,2	32,06663
БЛ-0(120х8)	120х6	70	37,2	35,19455

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
БЛУ-0а(120х6)	120х6	50	37,2	32,06663
БЛУ-0б(120х8)	120х8	50	37,2	35,19455
БЛ-0а(80х8)	80х8	45	37,2	30,74527
БЛ-0б(80х8)	80х8	48	37,2	30,74527
БСУ-0	2Ø22	50	29,2	32,64979
БС-0	2Ø22	65	29,2	32,64979
БС-0а	2Ø22	52,5	29,2	32,64979
БС-0б	2Ø22	50	29,2	32,64979

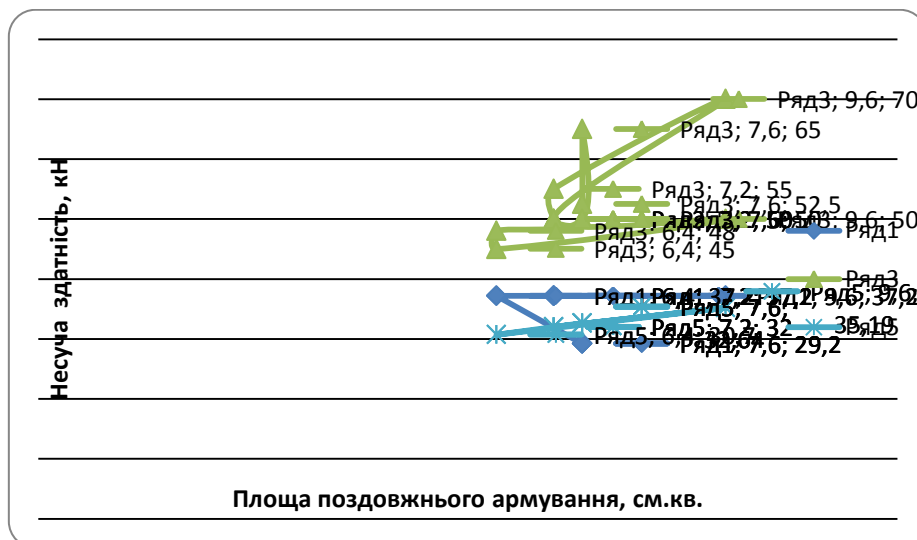


Рис. 2. Порівняння фактичної несучої здатності залізобетонних елементів $V_{Rd,c}$ з результатами теоретичних розрахунків:
ряд 1 – теоретичні дані згідно зі СНиП 2.03.01-84*;
ряд 3 – дані експериментальних досліджень; ряд 5 – несуча здатність за ДСТУ Б В.2.6-156:2010.

Висновки. Метод фермової аналогії, незважаючи на простоту у використанні і логічну послідовність, має чимало недоліків. У розрахунках не врахована низка важливих чинників, які суттєво впливають на несучу здатність похилих перерізів залізобетонних елементів: зусилля зчеплення в похилій тріщині, розмір прогону зрізу (особливо за $a > 2d$), нагельний ефект в поздовжній арматурі тощо. Це призводить до перевитрат поперечної арматури у 2-3 рази від необхідної кількості. Отже, метод фермової аналогії потребує подальшого вдосконалення або необхідне впровадження інших підходів до розрахунку несучої здатності похилих перерізів.

Порівняння результатів експерименту з теоретичними розрахунками за ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 дає підставу для твердження про задовільну оцінку несучої здатності залізобетонних і сталобетонних балок без поперечної арматури. Запас міцності за нормативним документом складає 30-50%.

Бібліографічний список

1. Боднарчук Т. Б. Несуча здатність похилих перерізів звичайних сталобетонних балок : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Боднарчук Тарас Богданович. – Львів, 1999. – 193 с.
2. Конструкції будинків і споруд. 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).

3. Конструкції будинків і споруд. 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).

4. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования : СНиП 2.03.01-84*. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 73 с. – (Строительные нормы и правила).

5. Клименко Ф. Е. Сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием / Ф. Е. Клименко. – К. : Будівельник, 1984. – 82 с.

Боднарчук Т., Нікіфоряк С. Розрахунок залізобетонних балок із зовнішнім стрічковим армуванням на дію поперечних сил методом фермової аналогії

Показано аналіз розрахункового апарату щодо визначення несучої здатності похилих перерізів сталебетонних балок відповідно до нових нормативних документів ДБН В.2.6.-98:2009 та ДСТУ Б В.2.6-156:2010, проведено порівняння отриманих результатів розрахунку за цією методикою з даними експериментальних досліджень.

Ключові слова: сталебетонні конструкції, зовнішня стрічкова арматура, поперечна арматура, похила тріщина, плече зрізу, поперечна сила, несуча здатність.

Bodnarchuk T., Nikiforyak S. Calculation of reinforced concrete beams with external flat reinforcement on the cross force by the method of "truss" analogue

The article gives the analysis of the calculation system for determining of the bearing capacity of inclined sections of reinforced concrete beams under the new normative documents DBN V.2.6.-98:2009 and DSTU B V.2.6-156:2010, and makes the comparison of the calculation results by this method with data of experimental studies.

Key words: steel and concrete constructions, the external band reinforcements, the cross reinforcement, the inclined crack, the shearing arm, the cross power, the carrying ability.

Боднарчук Т., Никифоряк С. Расчет железобетонных балок с внешней полосовой арматурой на действие поперечных сил методом фермовой аналогии

Проанализирован расчетный аппарат определения несущей способности наклонных сечений сталебетонных балок согласно новых

нормативных документов ДБН В.2.6.-98:2009 и ДСТУ Б В.2.6-156:2010, результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными.

Ключевые слова: сталебетонные конструкции, внешняя ленточная арматура, поперечная арматура, наклонная трещина, плечё среза, поперечная сила, несущая способность.