

Література

1. *Р.М. Панас* «Основи моніторингу та прогнозування використання земель», м. Львів, «Новий світ – 2000», 2007 р.;
2. *Розпорядження Уряду Російської Федерації* від 30 липня 2010 р. №1292-р «О Концепции развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года.»
3. *Юрій Зайцев*, дійсний академічний радник Академії інженерних наук РФ, Стаття «Землі потрібна підтримка з космосу» (Електронний ресурс «Міжнародне життя», <http://interaffairs.ru/read.php?item=404>).
4. *В.В. Чудовець*, стаття «Удосконалення методичних підходів та документального забезпечення інвентаризації земель сільськогосподарського призначення».
5. *Муратова Н.Р.* Контроль севооборота пахотных земель северного Казахстана по данным TERRAMODIS / Сб. науч. стат. Второй всерос. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Муратова Н.Р., Сулпангазин У.М., Терехов А.Г., под ред. О.Ю.Лавровой, Е.А.Лукина. – М.: GRANP polygraph, 2005. - С. 302-307.
6. *Барталев С.А.* Организация системы сбора и обработки спутниковых данных для мониторинга сельскохозяйственных районов / [Барталев С.А., Ершов Д.М., Лурия Е.А., Мазуров А.А., и др.] / Тез. Всерос. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИРАН, 2003. - С. 26.
7. *Нейштадт И.А.* Оценка площадей посевов сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования / Нейштадт И.А., Барталев С.А. / Тез. Конф. молодых ученых, поев, вопросам исследования и использования космического пространства в интересах фундаментальных наук, Москва, ИКИРАН, 2005. - С. 30.

УДК 624.012.45: 624.046.2

Козак О.В.¹

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕРІЗІВ ЗГІНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ПОПЕРЕЧНОЮ СИЛОЮ

АННОТАЦІЯ. Розглянуті основні методики розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних балок, виконані порівняльні чисельні розрахунки проміжної опори монолітної залізобетонної нерозрізної балки відповідно до розглянутих методів.

Ключові слова: похилі перерізи, поперечна сила, міцність, напруження на бетон.

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены основные методики расчета прочности наклонных сечений железобетонных балок, выполнены сравнительные численные расчеты промежуточной опоры монолитной железобетонной неразрезной балки согласно рассмотренных методов

Ключевые слова: наклонные сечения, поперечная сила, прочность, напряжения на бетон.

SUMMARY. Discussed the basic methods for calculating the strength of the inclined sections of reinforced concrete beams, completed the comparative numerical calculations of the intermediate support reinforced concrete continuous beam according to the methods considered

Keywords: inclined sections, shear force, strength, post-tension.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день будівництво потребує як ефективної технології виробництва так і підвищення якості проектних рішень із раціональним використанням конструкцій та матеріалів. Грамотне проектування та конструювання залізобетонних конструкцій заключається в правильному виборі розрахункових моделей та конструктивних форм.

На відміну від проблем міцності нормальних перерізів згинальних елементів (в області якої виконано масу експериментальних досліджень та досягнуто принципово рішення щодо визначення несучої здатності по нормальному перерізу), напружено-деформований стан похилих перерізів залишається менш вивченим, підтвердження чого є відсутність єдиної методики розрахунку несучої

здатності похилих перерізів, яка б враховувала всі фактори, які впливають на роботу залізобетонних елементів при одночасній дії згинального моменту, поперечної та поздовжньої сили.

Невирішеність проблеми опору дії поперечних сил, в одному випадку призводить до ускладнення армування та збільшення матеріалів, а в іншому випадку – до недостатньої міцності похилих перерізів проєктованих конструкцій.

Аналіз публікацій. Методики розрахунку міцності залізобетонних елементів на дію поперечних сил розробляються з початку перших експериментальних досліджень та вдосконалюються по сьогоднішній день. Існує ряд пропозицій щодо розрахунку міцності похилих

¹ Козак О.В., аспірант (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ).

перерізів, які відрізняються не тільки окремими положеннями та кількісними співвідношеннями, а й принциповим підходом. В результаті, нормативні документи різних країн пропонують відмінні методики, результати розрахунків по яким суттєво відрізняються одні від одних.

Порівнявши методики розрахунку міцності похилих перерізів за українськими (ДБН В.2.6-98:2009[1] та ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [2]), що відповідають міжнародним європейським нормам EROCODE-2 [3]), американськими (АСІ 318-95 [4]) та російськими нормативними документами (СП 52-101-2003 [5]), можна виділити ряд принципів відмінностей:

- у нормативних документах України та Європи [1-3] розглядається стержнева модель, в той час як в Росії [5] – модель похилих перерізів;

- відповідно російським [5] та американським [4] нормативним документам загальна несуча здатність залізобетонного елемента за поперечною силою складається із суми граничних поперечних сил, що сприймається бетоном та поперечною (похилою) арматурою, а в українських та європейських нормативах [1-3] ці дві величини (поперечні сили, що сприймається бетоном та поперечною (похилою) арматурою) оцінюються незалежно одна від одної (тобто при недостатньому значенні опору зсуву бетону, прийнято, що поперечна розрахункова сила сприймається тільки поперечною (похилою) арматурою);

- у нормативних документах Америки [4] гранична поперечна сила, що сприймається бетоном, визначається залежно від співвідношення поперечної сили і згинального моменту, а в російських нормативних документах [5], значення даної складової залежить від проекції довжини похилої тріщини на поздовжню вісь елемента;

- на відміну від російських нормативів [5], несуча здатність бетону за поперечною силою, відповідно до [1-4], залежить від значення коефіцієнту армування перерізу поздовжньою розтягнутою арматурою, а українські та європейські нормативні документи [1-3] додатково враховують складову від попередньо напруженої арматури;

- у нормативних документах України та Європи [1-3] значення граничної поперечної сили, що сприймається поперечною арматурою, визначається на довжині пов'язаній із кутом між розтягнутими і стиснутими стержневими елементами, в американських документах [4] – на довжині, що рівна робочій висоті перерізу, відповідно російським нормативам [5] – на довжині проекції похилого перетину.

Формулювання цілей статті. Метою статті є порівняльний аналіз існуючих методик по розрахунку несучої здатності залізобетонних конструкцій за поперечною силою на основі порівняльного чисельного розрахунку вузла монолітної балки з колоною при однакових вихідних умовах відповідно нормативним документам [1-5].

Виклад основного матеріалу. Відповідно до нормативних документів [1-3] необхідність встановлення поперечної арматури визначається шляхом перевірки нерівностей:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd.c} \text{ або } v_{Ed} \leq v_{Rd.c} \quad (1)$$

де V_{Ed} – розрахункова поперечна сила;

$V_{Rd.c} = v_{Ed} \cdot b_w \cdot d$ – поперечна сила, яка може бути сприйнята лише бетоном ребра перерізу;

$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w d}$ – розрахункове напруження зсуву в перерізі;

$V_{Rd.c}$ – розрахункова міцність перерізу бетону на зсув, армованого тільки поздовжньою арматурою.

Відповідно до [2], розрахункова величина опору зсуву бетону ($V_{Rd.c}$) визначається за наступною формулою:

$$V_{Rd.c} = [C_{Rd.c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad (3)$$

де $C_{Rd.c}$ – мінімальне значення міцності бетону на зсув;

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0;$$

ρ_l – коефіцієнт армування поздовжньою розтягнутою арматурою в перерізі, де визначають V_{Ed} ;

$f_{ck} = f_{ck,prism}$ – нормативне значення призмової міцності бетону;

σ_{cp} – середнє напруження від обтиску перерізу поздовжньою силою N від зовнішніх навантажень, або силою натягу P від попередньо напруженої арматури.

При виконанні нерівностей (1), коли за розрахунком не вимагається поперечна арматура, мінімальне поперечне армування встановлюється відповідно конструктивним вимогам.

Якщо нерівності (1) не виконуються, то в похилих перерізах можливе утворення тріщин. Таким чином необхідно проводити розрахунок поперечної арматури. Нормативні документи [1-3] рекомендують проводити даний розрахунок методом фермової аналогії (рис. 1).

Площу вертикальної поперечної арматури визначають при умові, що кут нахилу стиснутих кісців фермової моделі може приймати значення в межах $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$.

Цей кут залежить від максимально можливої міцності бетону конструкції на зсув $v_{Rd,max}$, що в свою чергу залежить від розрахункової міцності бетону при стиску f_{cd} :

$$v_{Rd,max} = f_{cd} v (\cot \theta + tg \theta) / (1 + \cot^2 \theta) \quad (4)$$

$$\text{де } v = 0.6 [1 - (f_{ck} / 250)].$$

При будь-якому значенні кута θ повинна виконуватися нерівність:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad (5)$$

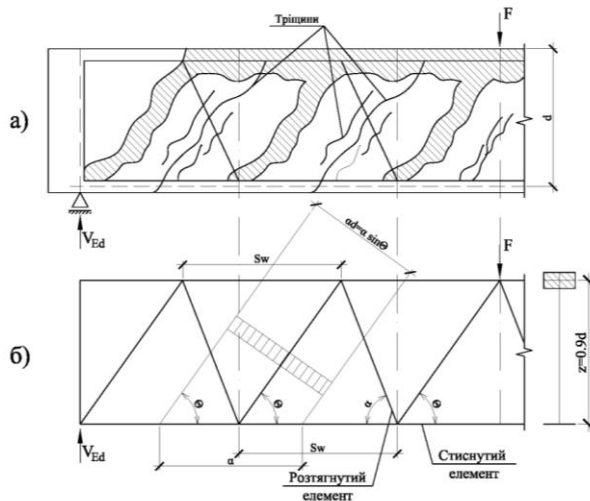


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення площі поперечної арматури методом фермової аналогії: а – схема утворення тріщин; б – фермова модель згинального елемента.

При виконанні нерівності (5), площа поперечної арматури визначається при заданому кроці s_w та $\cot \theta = 2.5$ ($\theta = 45^\circ$):

$$A_{sw} = \frac{V_{Ed} s_w}{z f_{ywd} \cot \theta} \quad (6)$$

де $z = 0.9d$ – умовне плече внутрішньої пари горизонтальних сил;

f_{ywd} – розрахунковий опір поперечної арматури на розтяг.

У випадку, коли нерівність (5) не виконується при $\cot \theta = 2.5$, то за формулою (4) визначають $V_{Rd,max}$ при $\cot \theta = 1$. При збереженні нерівності (5) при $\cot \theta = 1$, уточнюють кут θ :

$$\theta = 0.5 \sin^{-1} \left[\frac{V_{Ed}}{0.2 f_{ck} (1 - f_{ck} / 250)} \right],$$

після чого за формулою (6) знаходять площу необхідної поперечної арматури при новому значенні кута θ .

В американських нормативних документах [4] передбачається, що опір зрізу збільшується в зоні зосереджувальних навантажень або опорних реакцій, що викликають стиск. Розрахункове напруження зрізу визначається не на опорі, а на відстані від неї, що дорівнює значенню корисної висоти перерізу d (рис. 3)

елементів (V_u), відповідно до [4], визначається як алгебраїчна сума несучої здатності бетону (V_c) та арматури (V_s):

$$V_u = V_c + V_s \quad (7)$$



Рис. 2. Визначення розрахункової поперечної сили за методикою [4].

Несуча здатність бетону визначається:

$$V_c = v_c b_w d \quad (8)$$

де $v_c = 1.9 \sqrt{f'_c} + 2500 \rho_w \frac{V_u d}{M_u}$ – приведена

міцність бетону в перерізі на зріз, що непрямо враховує нагельний ефект (f'_c – циліндрична міцність бетону);

ρ_w – процент армування поздовжньою арматурою розрахункового перерізу;

M_u – несуча здатність нормального перерізу за згинальним моментом.

Розрахунок поперечної арматури необхідно проводити якщо:

$$\frac{V_u}{\phi \cdot b_w \cdot d} > v_c \text{ або } V_u > \phi \cdot V_c \quad (9)$$

де V_u – розрахункова поперечна сила; $\phi = 0.85$ – коефіцієнт пониження несучої здатності похилого перерізу.

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

$$V_s \leq 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (10)$$

Поперечна сила, що сприймається тільки вертикальними стержнями:

$$V_{s.v} = \frac{A_v}{s} \cdot f_y \cdot d \quad (11)$$

При застосуванні більш ніж одного виду поперечної арматури, необхідна її площа визначається як сума компонентів, що підраховувались незалежно один від іншого. Однак кожний тип поперечної арматури не повинен сприймати більше ніж 2/3 загальної поперечної сили, що сприймається всією поперечною арматурою.

Згідно російських нормативних документів [5], розрахунок міцності залізобетонних елементів за

поперечною силою проводять на основі моделі похилих перерізів.

Розрахунок похилих перерізів на дію поперечних сил проводять на основі рівняння рівноваги зовнішніх та внутрішніх поперечних сил, що діють в похилому перерізі з довжиною проекції c на поздовжню вісь елемента. Внутрішні поперечні сили включають поперечну силу, що сприймає бетон в похилому перерізі та поперечну силу, що сприймає поперечна арматура.

Таким чином, аналогічно американським нормам [4], несуча здатність похилих перерізів залізобетонних елементів Q , відповідно до [5], визначається як алгебраїчна сума несучої здатності бетону (Q_b) та поперечної арматури (Q_{sw}):

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} \quad (12)$$

Несуча здатність бетону по похилому перерізі визначається:

$$0.5R_{bt}bh_0 \leq Q_b = \frac{\varphi_{b2}R_{bt}bh_0^2}{c} \leq 2.5R_{bt}bh_0 \quad (13)$$

де φ_{b2} – коефіцієнт прийнятий 1.5; R_{bt} – міцність бетону на стиск; $c \leq 2h_0$ – довжина проекції похилого перерізу на поздовжню вісь елемента.

Несуча здатність поперечної арматури:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw}q_{sw}c \quad (14)$$

де φ_{sw} – коефіцієнт прийнятий 0.75; q_{sw} – зусилля в поперечній арматури на одиницю довжини елемента:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{S_{sw}} \quad (15)$$

де R_{sw} – опір поперечної арматури на розтяг; A_{sw} – площа поперечної арматури в перерізі; S_{sw} – крок поперечних стержнів.

Слід зауважити, що одним із найбільш невивченим фактором являється напружена арматура, вплив якої (на міцність похилих перерізів) в різних нормативних документах трактується по різному.

Так, відповідно українськими нормативним документам [1,2] (що відповідають міжнародним європейським нормам [3]), при визначенні опору зсуву бетону $V_{Rd,c}$ (3), враховується складова середнього напруження ($\sigma_{cp}=P/A$) від обтиску бетонного перерізу силою натягу арматури P .

Американські нормативи [4] попереднє напруження враховують емпіричними коефіцієнтами при визначенні величини міцності бетону (8). При наявності попередньо напруженої арматури приведена міцність бетону на зріз становить:

$$v_c = 0.6\sqrt{f'_c} + 700\frac{V_u d}{M_u} \quad (16)$$

Відповідно російським нормативним документам, ефект попереднього напруження, при визначенні несучої здатності бетону по похилому перерізі, не враховується (13).

Особливу увагу, хотілося б звернути на конструкції із натягом арматури на бетон («post-tension»). Відмінність технології постнапруження від широко відомого попереднього напруження (здійснюваного в умовах заводу ЗБВ), полягає в тому, що напружувана арматура натягується після бетонування і набору бетоном достатньої передаточної міцності (приблизно 70-80% марочної міцності).

Для забезпечення можливості натягу арматури, після твердіння бетону, вона повинна мати можливість вільного переміщення в бетоні. Для цього напружувана арматура поміщується в канали (із металевих або пластикових труб). Передача зусиль на бетон здійснюється за допомогою встановлених на кінцях елементів анкерних пристроїв. Як правило, для попереднього напруження використовуються арматурні канати, що влаштовуються в конструкціях між верхньою й нижньою сіткою арматур відповідно до форми епюри згинальних моментів. При натягу канатів виникають напруження обтиску бетону (від сили натягу P , рис. 3) та розвантажувальне зусилля (реактивний тиск Q_{p1} та Q_{p2} , рис.3), що змінює свій напрямок на опорах в нерозрізних конструкціях.

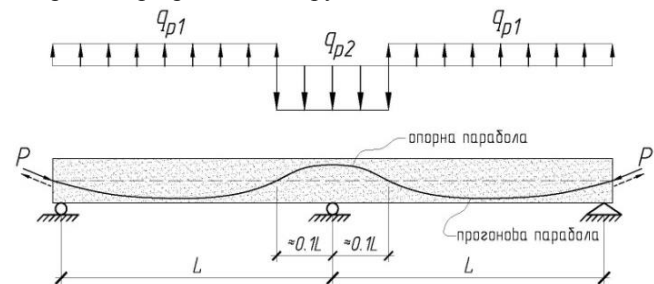


Рис. 3. Схема розміщення криволінійного напружуваного канату (без щеплення з бетоном) в нерозрізній конструкції.

Слід звернути увагу, що ні одні із розглянутих нормативних документів [1-5] не розглядають натяг криволінійної арматури на бетон, при якому виникає розвантажувальне зусилля (реактивний тиск Q_p) та не враховують його вплив (реактивного тиску) на міцність залізобетонних елементів за поперечною силою.

Для порівняння чисельних значень міцності похилих перерізів за методиками [1-5], визначено несучу здатність проміжної опори нерозрізної монолітної залізобетонної балки (перерізом 200x150 мм), армованої двома плоскими каркасами. Поздовжня верхня (робоча) арматура балки - 2Ø20 мм (A400С), нижня (конструктивна) - Ø6 мм (A240С), поперечна арматура - Ø4 мм (Вр-І) з кроком 150 мм. Результати розрахунків приведені в табл. 1.

Висновки. Провівши теоретико-розрахунковий аналіз розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних елементів відповідно нормативним документам

України [1-2], Європи [3], США [4] та Росії [5], можна зробити висновок, що підходи до визначення несучої здатності за поперечною силою значно відрізняються один від одного та враховують при цьому різні фактори. В свою чергу, результати чисельного розрахунку показали значну незбіжність між собою різних методик. Беручи до уваги отримані результати, вважаємо за необхідне провести ряд експериментальних досліджень вузлів монолітних

нерозрізних балок, що дасть змогу порівняти експериментальні результати із теоретичними та запропонувати методику розрахунку міцності похилих перерізів із врахуванням усіх можливих факторів (в тому числі й попереднє напруження арматури з натягом на бетон), що підвищують або понижають несучу здатність за поперечною силою.

Таблиця 1

Несуча здатність за поперечною силою розрахункової проміжної опори нерозрізної монолітної залізобетонної балки.

Згідно з [1-3]		Згідно з [4]			Згідно з [5]		
Несуча здатність бетону, $V_{Rd.c}$, кН	Несуча здатність поперечної арматури, $V_{Rd.w}$, кН	Несуча здатність бетону, V_c , кН	Несуча здатність попереч. арматури, V_s , кН	Загальна несуча здатність V_u , кН	Несуча здатність бетону, Q_b , кН	Несуча здатність попереч. арматури, Q_{sw} , кН	Загальна несуча здатність Q , кН
<u>26.78</u>	<u>19.62</u>	34.34	8.77	<u>43.11</u>	18.25	11.97	<u>30.22</u>

Література

1. ДБН В.2.6.-98:2009. Конструкції будівель та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
2. ДСТУ Б В.2.6.-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. МІНРЕГІОНБУД УКРАЇНИ. К:2011 р.
3. EN 1992-1-1-2004: Eurocode 2: Design of concrete structures.-Part 1-1: General rules and rules for buildings.
4. АСІ 318-95
5. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения. М.2003.
6. Мурашко Л.А., Колякова В.М., Сморгалов Д.В.. Розрахунок за міцністю перерізів нормальних та похилих до поз-довжньої осі згинальних залізобетонних елементів за ДБН В.2.6-98:2009: Навчальний посібник.- К:КНУБА, 2012.-62с.
7. Мурашко Л.А. Кінаш Р.І., Левчич В.В. Розрахунок міцності залізобетонних згинальних елементів за закордонними нормами. Навчальний посібник.-Львів. Видавництво Львівського університету «Львівська політехніка». 1999.-495с.