

УДК 624.012.035

*О.І. Башинський, к.т.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

*Т.Б. Боднарчук, к.т.н. (Львівський національний аграрний університет)*

*Т.Г. Березанський (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## **Оцінювання несучої здатності та межі вогнестійкості сталобетонних балок**

В статті проведено аналіз розрахункового апарату щодо визначення несучої здатності похилих перерізів та межі вогнестійкості сталобетонних балок згідно з новими нормативними документами ДБН В.2.6.-98:2009, ДСТУ Б В.2.6-156:2010 та ДБН В.1.2-7-2008, порівняння їх результатів з експериментальними. Оцінку межі вогнестійкості залізобетонних елементів станом на сьогоднішній день проводять, використовуючи методику, в основу якої покладено такі підходи: розгляд сценаріїв реальної пожежі, розгляд сценаріїв умовної пожежі та розрахунок вогнестійкості.

**Ключові слова:** сталобетонні конструкції, зовнішня стрічкова арматура, поперечна арматура, похила тріщина, плече зрізу, поперечна сила, несуча здатність, вогнестійкість, межа вогнестійкості.

На сучасному етапі розвитку України, інтегруючись в європейську спільноту ми переймаємо як культурний, так і науковий її досвід. Останні нормативні документи в галузі будівництва є підтвердженням цієї тенденції. Розглянемо нові нормативні документи, що стосуються розрахунків та проектування бетонних та залізобетонних конструкцій, які наближають національну нормативну базу до європейських стандартів. Зупинимось детально на питанні розрахунку несучої здатності похилих перерізів залізобетонних згинальних елементів із стержневою та стрічковою поздовжньою арматурою з вертикальними поперечними стержнями (хомутами) і за відсутності поздовжніх сил.

У різних країнах світу методи розрахунку несучої здатності похилих перерізів принципово відрізняються. Один з підходів базується на аналогіях, які розглядають залізобетонний елемент як розкїсну ферму чи арку. Саме метод фермової аналогії і ввійшов в основу європейських норм. В іншому підході, який використовують в США та Канаді застосовано метод критичної тріщини. Принципово новим підходом є метод кінцевих елементів, що враховує процес тріщиноутворення на напружено-деформований стан похилого перерізу. У нашій країні для оцінки міцності похилих перерізів використовувався метод граничної рівноваги [4, 7]. 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 [2], розрахунок несучої здатності похилих перерізів залізобетонних елементів пропонується виконувати на основі загальної деформаційної моделі з урахуванням плоского напруженого стану, але в [3] наведена лише методика, що базується на використанні «фермової» моделі. В основі цього методу лежить аналогія між роботою розкісної ферми та залізобетонного елемента, що працює на сприйняття поперечних сил, де верхній пояс ферми утворює бетон стиснутої зони, нижній – розтягнутої арматури. Цей метод не враховує реального напружено-деформованого стану залізобетонного елемента і дуже наближено визначає зусилля в бетоні та арматурі.

Поперечна сила, яку може сприйняти 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:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{sw} b_w V_1 f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)} \quad (2)$$

За опір зсуву для бетонного елемента приймається менша з двох величин, підрахована за формулами (1) та (2). Тобто при розрахунку не враховується 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.

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

Для аналізу розрахункового апарату нових нормативних документів було пораховано 8 залізобетонних балок із стержневою арматурою та 8 балок-близнюків із стрічковою арматурою з рифленою поверхнею. Усі балки були виготовлені на високоміцному важкому бетоні без попереднього напруження з кроком поперечної арматури 90 мм та 120 мм. Проліт балок – 2000 мм, довжина – 2300 мм, ширина – 120 мм, висота – 240 мм. Плечі прикладання сил коливалися від  $1,5d$  до  $3,5d$  [1]

Як показав аналіз розрахунків, згідно з [2], та порівняння їх з результатами експериментальних даних (загалом 16 зразків), методика [3] занижує несучу здатність похилого перерізу в 1,4–3 рази (див. рис.1). Як видно з графіка, особливо велика розбіжність

виникає при малих плечах зрізу  $1,5d$ . Із збільшенням плеча зрізу значення експериментальних та теоретичних результатів зближуються, хоча варто зазначити, що в більшості випадків при визначенні  $\theta$  його значення було меншим за граничне  $21,8^\circ$ , тому доводилось в розрахунках приймати максимально-можливе  $\cot \theta = 2,5$ . Такі великі розбіжності між теоретичними та дослідними результатами не дозволяють говорити про якісну оцінку несучої здатності сталобетонних балок, оскільки ця методика дає неточну оцінку усіх залізобетонних елементів незалежно від виду поздовжнього армування.

Якщо говорити про оцінку несучої здатності за [4], то розбіжність між теоретичними та експериментальними даними не перевищувала 15%. Хоча інколи несуча здатність за [4] давала завищені результати у порівнянні з дослідними даними.

Оцінку межі вогнестійкості залізобетонних елементів сьогодні проводять використовуючи [8]. В основу методики покладено оцінювання вогнестійкості конструкцій за допомогою таких підходів:

- розгляд сценаріїв реальної пожежі;
- розгляд сценаріїв умовної пожежі;
- розрахунок вогнестійкості.

**Розгляд сценаріїв реальної пожежі.** Для розрахунку теплового впливу пожежі на будівельному об'єкті (наприклад, у приміщенні, у групі приміщень або на частинах будівельного об'єкта) необхідно враховувати:

- пожежне навантаження (тип, кількість речовин та матеріалів і швидкість їх горіння);
- надходження повітря (кисню) до місця пожежі;
- форму та розмір огорожувальної конструкції (визначені протипожежним відсіком);
- термічні властивості огорожувальної конструкції.

Залежно від конкретної концепції пожежної безпеки та інженерно-технічного підходу доцільно також враховувати:

- вплив системи пожежогасіння (наприклад, системи спринклерного типу);
- дії пожежного підрозділу, рятувальної команди (які можуть бути ініційовані спрацюванням систем пожежної сигналізації).

**Розгляд сценаріїв умовної пожежі.** Основна вимога потребує того, щоб обмежувалось поширення вогню і зберігалась несуча здатність конструкції протягом певного проміжку часу. Наведене може бути виконано шляхом підтвердження вогнестійкості несучих та/або огорожувальних конструкцій. Прийнято використовувати стандартний температурний режим згідно з [10] як модель повністю розвиненої пожежі. Ця крива визначається залежністю:

$$T = 345 \lg(8t + 1) + 20 \quad (3)$$

де  $T$  – температура газу в печі,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t$  – тривалість теплового впливу протягом вогневого випробування, хв.

Стандартний температурний режим відображає умовну модель, що використовується для оцінювання поведінки виробів під впливом повністю розвиненої пожежі. Прийняття цієї кривої (температура/час) є спрощеним представленням термічної дії пожежі.

Для особливих умов пожежі випробування виробів повинно проводитись згідно зі стандартним температурним режимом до  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $820^{\circ}\text{C}$  з подальшим підтриманням температури на цих рівнях до завершення часу випробування.

Інтенсивність теплового впливу під час реальної пожежі може бути більшою чи меншою ніж та, що відтворюється в стандартному температурному режимі. Для підтвердження вогнестійкості в умовах більш інтенсивного впливу (особливо за більш високої швидкості наростання температури) використовується вуглеводнева крива, яка визначається залежністю:

$$T = 1080 [1 - 0,325 \exp(-0,167 t) - 0,675 \exp(-2,5 t)] + 20 \quad (4)$$

Якщо за деяких обставин потрібно провести випробування за меншої швидкості підвищення температури ніж у стандартному температурному режимі, то проводять випробування в режимі повільного горіння (тління). Такі випробування проводять тільки в тому випадку, коли очікується, що значення характеристики виробу в умовах дії реальної пожежі, що повільно розвивається, виявиться значно меншим ніж у режимі випробування за стандартним температурним режимом. Залежність температура/час для температурного режиму повільного горіння визначається так:

– для проміжку часу випробувань  $0 < t \leq 21$ :

$$T = 154 t^{0,25} + 20 \quad (5)$$

– для проміжку часу випробувань  $t > 21$ :

$$T = 345 \lg [8 (t - 20) + 1] + 20 \quad (6)$$

Для визначення характеристики вогнестійкості, наприклад, зовнішніх несучих стін, може бути використаний температурний режим зовнішньої пожежі, який визначається залежністю:

$$T = 660 [1 - 0,687 e^{-0,32t} - 0,313 e^{-3,8t}] + 20 \quad (7)$$

Умови теплового впливу на зразок, що випробовується, включаються в нормативний документ щодо методу випробування.

Для особливого екстремального сценарію пожежі (наприклад, транспортні тунелі, атомні станції тощо) можуть задаватись більш жорсткі умовні температурні режими.

**Основні положення для розрахунку вогнестійкості.** Під час розрахунку вогнестійкості необхідно брати до уваги несучу здатність, цілісність та теплоізолювальну

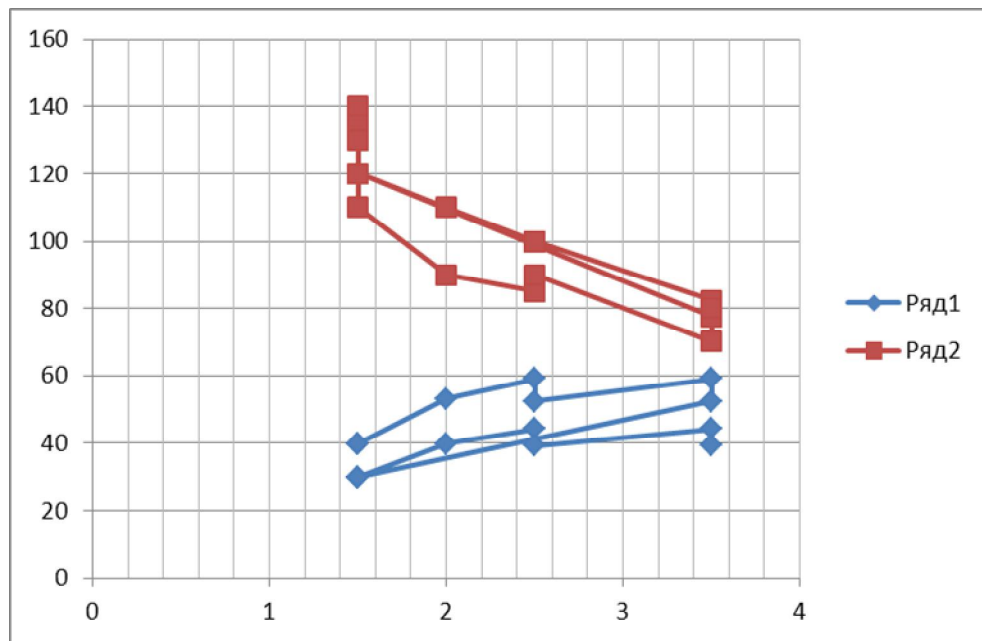
здатність. Для цього необхідно розрахувати або отримати експериментальні дані щодо реакції елемента (конструкції) на тепловий вплив. Для розрахунку потрібна інформація щодо теплопередачі від вогню до елемента (конструкції).

У разі використання в розрахунках стандартного температурного режиму (тобто поданої вище залежності температура/час відповідно до [10]) слід застосовувати відповідні коефіцієнти конвекційного і радіаційного теплообміну, які відповідають умовам, що мають місце при цих випробуваннях. Для інших моделей вогневого впливу (наприклад, вуглеводнева і тліюча пожежі) слід використовувати відповідний коефіцієнт теплообміну.

Оцінити цілісність інколи складно, оскільки для цього потрібна інформація, наприклад, щодо можливості появи тріщин та наскрізних отворів, що розвиваються в елементі, яку часто можна визначити лише проведенням випробування на вогнестійкість.

Дослідження відмінностей в роботі сталобетонних та залізобетонних балок, перекриттів, ригелів проводилось на горизонтальній вогневій установці Науково-дослідного інституту бетону і залізобетону (м. Москва) [6]. При проведенні експериментів було встановлено, що в сталобетонних балках втрата несучої здатності проходить не залежно від наявності вогнезахисту зовнішнього армування по нормальному перерізі в результаті дроблення бетону стиснутої зони.

Середнє значення межі вогнестійкості сталобетонних балок без вогнезахисту зовнішнього армування становить 24 хвилини, а з вогнезахистом – 45 хвилин. Вогнезахисне покриття ОВПН-1 товщиною 5 мм в повітряно-сухому стані сповільнює прогрів стрічкового армування до критичної температури  $624...645^{\circ}\text{C}$ , що в 1,9 раз більше порівнянно з балками без вогнезахисту. Вогнестійкість балок-аналогів з стержневим армуванням така ж, як і у сталобетонних з вогнезахисним покриттям і становить в середньому 48 хвилин.



*Рис.1. Залежність несучої здатності елементів  $V_{ed}$  (кН – вертикальна вісь) при дії поперечних сил від довжини прольоту зрізу  $a/d$  (горизонтальна вісь): ряд 1 – дослідні дані, ряд 2 – теоретичні дані, згідно з [3]*

### **Висновки:**

1. Метод фермової аналогії, незважаючи на простоту у використанні і логічну послідовність, має багато недоліків. В розрахунках не враховано ряд важливих факторів, які суттєво впливають на несучу здатність похилих перерізів залізобетонних елементів: зусилля зчеплення в похилій тріщині, величина прольоту зрізу (особливо при  $a > 2d$ ), нагельний ефект в поздовжній арматурі тощо. Це призводить до перевитрат поперечної арматури в 2-3 рази від необхідного. Отже метод фермової аналогії потребує подальшого вдосконалення або впровадження інших підходів до розрахунку несучої здатності похилих перерізів.

2. Сталобетонні балки з зовнішнім стрічковим армуванням у відповідності з вимогами [8] можна застосовувати в будівництві для елементів покриття у всіх будівлях крім I, II ступенів вогнестійкості і для несучих конструкцій перекриттів – у всіх будівлях крім I, II, III ступенів вогнестійкості.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. **Боднарчук Т.Б.**, Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Несуча здатність похилих перерізів звичайних сталобетонних балок. Дубляни, 1999.
2. **ДБН В.2.6-98:2009** «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення».
3. **ДСТУ Б В.2.6-156:2010** «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування».
4. **СНиП 2.03.01-84\*** Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.
5. **Клименко Ф.Е.**, Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием.- К.: Будівельник.-1984.
6. **Клименко Ф.Е., Демчина Б.Г., Добрянський І.М.** Дослідження вогнестійкості сталобетонних балок з зовнішнім штабовим армуванням // Вісник, ЛПІ - № 252 Резерви прогресу в арх. і буд-ві. Львів.1991.
7. **Залесов А.С., Климов Ю.А.** Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. -Киев: Будівельник, 1989. -105с.
8. **ДБН В.1.1-2002** «Пожежна безпека об'єктів будівництва»
9. **ДБН В.1.2-7-2008** «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів».
10. **ДСТУ Б В.1.1-98** «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги»

*О.И. Башинский, Т.Б. Боднарчук, Т.Г. Бережанский*

## **ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЕБЕТОННЫХ БАЛОК**

В статье проведен анализ расчетного аппарата по определению несущей способности наклонных сечений и предела огнестойкости сталебетонных балок согласно новых нормативных документов ДБН В.2.6-98: 2009, ДСТУ Б В.2.6-156: 2010 и ДБН В.1.2-7-2008, сопоставления их результатов с экспериментальными. Оценку предела огнестойкости железобетонных элементов, на сегодняшний день, проводят используя методику в основу которой положены следующие подходы: рассмотрение сценариев реального пожара, рассмотрение сценариев условного пожара и расчет огнестойкости

**Ключевые слова:** сталебетонные конструкции, внешняя ленточная арматура, поперечная арматура, наклонная трещина, плечо среза, поперечная сила, несущая способность, огнестойкость, предел огнестойкости.

*О.І. Bashynsky, Т.В. Bodnarchuk, Т.Г. Berezhansky*

## **Evaluation of bearing capacity and fire resistance range of steel reinforced concrete beams in accordance**

In the article analysis of rated apparatus for determining bearing capacity of inclined sections and fire resistance range of reinforced concrete beams according to new normative documents of State Construction Standards V. 2.6.-98:2009, State Standards of Ukraine B V.2.6-156:2010 and State Construction Standards V.1.2-7-2008 was conducted, comparing their results and experimental ones. Fire resistance range evaluation of reinforced concrete elements nowadays is conducted using a method, based on the following approaches: analysis of real fire scenarios, analysis of simulated fire scenarios and fire resistance calculation

**Key worlds:** steel and concrete constructions, the external band reinforcements, the cross reinforcement, the inclined crack, the shearing arm, the cross power, the carrying ability, fire resistance, limit of fire resistance.