

інгібітори солевідкладень з високою здатністю до адсорбції на породі пласта. Комплексний підхід до регулювання фізико-хімічних умов забезпечує зниження ризику утворення відкладень і стабільну роботу обладнання.

*Література:*

1. Аналіз ускладнень при експлуатації газових і газоконденсатних свердловин та шляхи боротьби з ними [Текст] / В. Б. Воловецький, О. Ю. Витязь, В. І. Коцаба та ін. // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. – 2015. – Вип. 2 (39). – С. 78-88.

2. Кондрат, Р. М. Аналіз причин солевідкладення і методів боротьби з ними під час експлуатації газових і газоконденсатних свердловин [Текст] / Р. М. Кондрат, О. Р. Кондрат // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. – 2008. – Вип. 2 (27). – С. 39-42.

3. Кондрат, Р. М. Промислові дослідження інгібіторного методу боротьби з відкладенням солей під час експлуатації обводнених газових і газоконденсатних свердловин [Текст] / Р. М. Кондрат, О. Р. Кондрат // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. – 2012. – Вип. 3 (44). – С. 14-21.

### УДК624.012

#### КРИТЕРІЙ ВИЧЕРПАННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ КОСО СТИСНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

**Павликов А.М.**, д.т.н., професор, **Гарькава О.В.**, к.т.н., доцент  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
[am.pavlikov@gmail.com](mailto:am.pavlikov@gmail.com)

**Актуальність дослідження.** Для косо стиснутих залізобетонних елементів критерієм вичерпання несучої здатності є досягнення розрахункових граничних значень деформацій бетону в найбільш стиснутій фібрі перерізу. При неоднорідному деформуванні залізобетонних елементів за умови прикладання навантаження з малими ексцентриситетами, тобто таких, у яких в момент руйнування напруження в арматурі розтягнутої зони не досягають межі текучості, названі значення деформацій будуть перевищувати значення, визначені в [1] на основі екстремального критерію. Його застосування для такого випадку деформування залізобетонних елементів не дозволяє отримати аналітичного розв'язку.

**Мета дослідження.** Визначити аналітично розрахункові граничні значення деформацій бетону в найбільш стиснутій фібрі перерізу косо стиснутих залізобетонних елементів за умови роботи арматури в пружній стадії на основі коефіцієнта повного використання опору бетону стиснутої зони [2].

**Методика дослідження.** Оскільки в граничному стані косо стиснутого елемента напруження в розтягнутій арматурі при її роботі пружній стадії зростають, відповідно рівнодійна зусиль в арматурі збільшується. Для її врівноважування рівнодійна в стиснутій зоні перерізу також буде зростати за рахунок наповнення епюри напружень та більш інтенсивного деформування найбільш стиснутих волокон бетону. В певний момент це наповнення досягне свого максимуму, що буде відповідати найбільшому значенню рівнодійної зусиль в бетоні стиснутої зони. В цей момент відбудеться руйнування елемента як такого, в якому вичерпані міцнісні та деформативні якості бетону стиснутої зони.

Критерієм несучої здатності в такому випадку в розрахунках може слугувати критерій повного використання опору бетону стиснутої зони залізобетонного елемента. Визначення критерію реалізується шляхом дослідження функції  $N_c = f(\eta)$ , на екстремум, що також може

бути еквівалентно дослідженню функції коефіцієнта  $\omega_1$  повноти епюри напружень стиску в бетоні стиснутої зони у вигляді умови:

$$\omega_1(\eta_o) = \max \omega_1(\eta), \quad (1)$$

де розрахункове граничне значення рівня деформації бетону на стиск  $\eta_o = \varepsilon_{co} / \varepsilon_{c1,cd}$  перевищує значення рівня  $\eta_u = \varepsilon_{cu} / \varepsilon_{c1,cd}$ , що відповідають екстремальному критерію міцності даного перерізу при сталому значенні напружень текучості в арматурі [1].

Опираючись на запропонований критерій, для визначення значень  $\eta_o$  застосована умова:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial \eta} = 0. \quad (2)$$

Розв'язком рівняння (2) є залежність, котра подібно до роботи [1] дозволяє визначати граничні деформації бетону залежно від коефіцієнта  $k$  фізико-механічних властивостей бетону

$$\eta_o = \frac{e^\lambda - 1}{k - 2}, \quad k \neq 2, \quad (3)$$

де  $\lambda$  – корінь характеристичного рівняння

$$e^\lambda (2k(k - 2)(\lambda - 1) + 2\lambda - 3) - e^{3\lambda} + 2e^{2\lambda} + 2k(k - 2) + 2 = 0. \quad (4)$$

Результати дослідження виразу (2) у вигляді функції  $\omega_1 = f(\eta)$  на екстремум дозволяють побудувати діаграму граничних значень рівнів фібрових деформацій бетону трикутної стиснутої зони косо стиснутих залізобетонних елементів у момент досягнення епюрою напружень в бетоні стиснутої зони максимального наповнення (рис. 1). Отриману діаграму можна використовувати у розрахунках несучої здатності таких елементів.

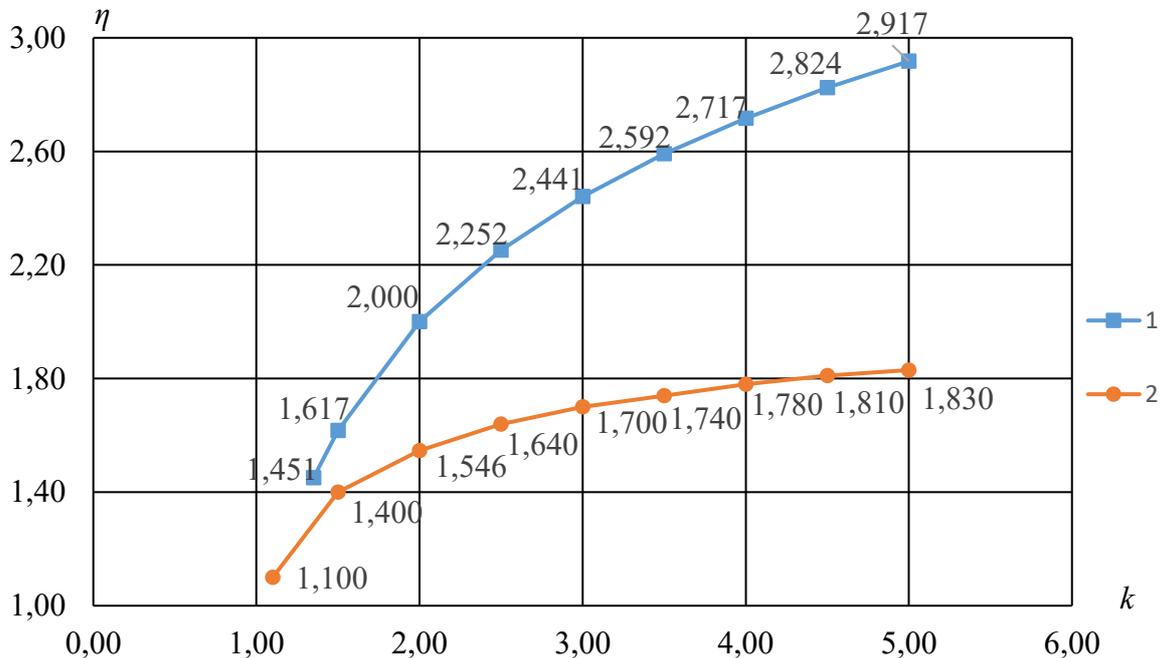


Рисунок 1 – Діаграми граничних значень рівнів фібрових деформацій бетону трикутної стиснутої зони перерізу косо стиснутого елемента: 1 –  $\eta_o$  за (2) при  $\sigma_s < f_{yd}$  та 2 –  $\eta_u$  за екстремальним критерієм [1] при  $\sigma_s = f_{yd}$

**Висновки.** Таким чином, застосування критерію повного вичерпання міцності бетону стиснутої зони косо стиснутих залізобетонних елементів дозволяє аналітично визначити відносні фіброві деформації бетону в їх складі у граничному стані при трикутній формі стиснутої зони бетону за умови, що деформації розтягнутої арматури знаходяться на визначеному проміжку, котрий відповідає пружній роботі арматури. Отримані значення

конструкційних деформацій бетону можуть безпосередньо використовуватись в розрахунках несучої здатності косо стиснутих елементів.

*Література:*

1. Pavlikov, A. & Harkava, O. (2020). *Structural deformability of concrete. Concrete Structures for Resilient Society: Proc. of the fib Symposium 2020*, 449-455.

2. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2023). *Гранична деформативність бетону в згинальних переармованих елементах. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць*, 19, 124-134. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-8\(19\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-8(19)-15)

**УДК 624.012**

**ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**Павліков А.М.**, д.т.н., професор

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

[am.pavlikov@gmail.com](mailto:am.pavlikov@gmail.com)

**Актуальність дослідження.** Розрахунок несучої здатності бетонних перерізів [1, 2] має притаманну їм особливість: зовнішня поздовжня сила  $N$  сприймається тільки стиснутою зоною перерізу. Це вимагає бетон, як матеріал перерізу, використовувати максимально ефективно. Через це проектування бетонних конструкцій стикається з проблемою встановлення критерію умов неможливості виникнення в них розтягнутої зони від дії заданої поздовжньої сили  $N$ , оскільки поява розтягнутої зони в таких конструкціях вимагає додаткового застосування арматури. Отже, формулювання умов критерію та встановлення меж його застосування з урахуванням при цьому властивостей бетону має важливе значення.

**Мета дослідження.** Метою роботи є отримання розрахункових формул встановлення в загальному випадку межі необхідності армування розтягнутої зони стиснутого бетонного елемента з урахуванням його властивостей нелінійного деформування.

**Методика дослідження.** За шуканий критерій у поставленій задачі прийнято граничне значення ексцентриситету  $e_{c,max}$  прикладання поздовжньої сили  $N$ , тобто таке його значення, при збільшенні якого в бетонному елементі появиться розтягнута зона. Критерій запропоновано представляти так (рисунок 1):

$$e_0 \leq e_{c,max}, \quad (1)$$

де  $e_0$  – ексцентриситет прикладання зовнішньої сили  $N$ ;

$e_{c,max}$  – максимально можливий ексцентриситет за якого в точці С на протилежній грані виникає розтяг.

Із (1) випливає, що сукупність точок, для яких (1) має місце, називається ядром перерізу (рисунок 1). На відміну від курсу опору матеріалів, як видно з рисунка 1, на його розмір  $r$  впливатимуть нелінійні властивості бетону.

На загальній розрахунковій схемі рисунка 1: на бетонний елемент прямокутного поперечного перерізу розміром  $b \times h$  діє поздовжня сила  $N$  з ексцентриситетом  $e_c = r/2 = e_1 - 0,5h$ .