

**ЩОДО ЕКСТРЕМАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ МІЦНОСТІ
БЕТОННИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ І
КОНСТРУКЦІЙ**

Ромашко В.М., к.т.н., доц.

*Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне, Україна*

Постановка проблеми. Нові вітчизняні норми з проектування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій [1, 2] базуються на використанні так званої «деформаційної моделі» перерізу. Остання передбачає використання у розрахунках конструкцій повних діаграм деформування стиснутого бетону. Базовими для залежностей $\sigma_c = f(\varepsilon_c)$ прийняті неправильна дробово-раціональна функція та поліном п'ятого степеню. При їх використанні вичерпання несучої здатності, а отже і величина граничних деформацій стиснутого бетону, обмежується за допомогою:

- екстремального критерію $dM / d(1/\rho) = 0$ або $dN / d\varepsilon_c = 0$;
- табличних величин граничних деформацій крайніх фібр стиснутого бетону ε_{cu} ;
- граничних деформацій усіх розтягнутих стержнів арматури ε_u .

Декларування вищеназваних критеріїв є зрозумілим, а от їх надто вільне трактування та використання викликає ряд серйозних зауважень та запитань. Зокрема, виникає сумнів щодо реалізації останнього критерію в елементах і конструкціях, що армовані по периметру або зазнають косоного стиску чи косоного згину. Ще більш суперечливим і, можливо, навіть некоректним видається використання в додатку А норм [2] параметра $dN / d\varepsilon_c = 0$ в якості екстремального критерію для відцентрово стиснутих залізобетонних елементів зокрема та стиснуто-зігнутих загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В деформаційних моделях перерізу бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій особлива роль відводиться критеріям вичерпання їх несучої здатності. Остання в значній мірі залежить від того, якою може бути величина

граничних деформацій крайніх фібр стиснутого бетону ε_{cu} в рамках тої чи іншої моделі. Тому, виходячи зі сказаного, необхідно розрізнити існування трьох характерних типів деформаційних моделей перерізу бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій.

В моделі СКБ-ФІП [3] граничні деформації бетону призначені за результатами відповідних вимірювань на стиснутій грані дослідних залізобетонних елементів за їх неоднорідного деформування. Вони є залежними лише від виду та класу (міцності) бетону.

За моделлю НДІБК [2] граничні деформації бетону обмежені за результатами випробування центрально стиснутих бетонних призм і тому теж залежать лише від виду та класу бетону. Однак отримані в такий спосіб граничні деформації бетону ε_{cu} практично не зв'язані з граничним станом перерізу залізобетонних елементів, а тому навряд чи можуть слугувати критерієм їх руйнування.

В моделі з екстремальним критерієм міцності [4] граничні деформації бетону визначаються з рівнянь рівноваги разом з іншими невідомими параметрами напружено-деформованого стану елементів. А це дозволяє врахувати вплив не тільки виду та класу бетону, але й інших факторів (форми перерізу, характеристик армування тощо) на величину деформацій бетону ε_{cu} .

Виділення питань, не вирішених в рамках загальної проблеми. Цілковито очевидно, що найбільш «привабливою» є деформаційна модель з екстремальним критерієм міцності, основи якої прямо чи опосередковано були закладені в роботах [5, 6, 7], а теоретичне обґрунтування здійснене Митрофановим В.П. і Арцевим С.І. [4] за умовою максимуму параметра навантаження нормального перерізу F як функції деформацій бетону стиснутої грані елемента ε_c

$$F(\varepsilon_c) \Big|_{\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}} = \max. \quad (1)$$

В той же час, відсутність строгих рекомендацій щодо використання залежності (1) призвела до того, що параметр $dN/d\varepsilon_c = 0$ доволі часто застосовується окремими дослідниками в якості екстремального критерію не тільки до центрально стиснутих елементів але й до тих, що зазнають неоднорідного деформування. Аналогічне зауваження стосується і прийнятих нормативних документів [2].

Мета статті. Дана стаття направлена на виявлення та належне обґрунтування чітких і строгих критеріїв вичерпання несучої здатності бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій та визначення з їх допомогою граничних деформацій стиснутого бетону в зазначених елементах. Крім того, основним завданням даної статті є оцінка впливу

визначальних міцнісних та деформативних характеристик бетону і арматури на можливості граничного деформування стиснутого бетону в бетонних та залізобетонних елементах і конструкціях.

Виклад основного матеріалу. Спробуємо обґрунтувати, чому параметр $dN/d\varepsilon_c = 0$ не може виступати екстремальним критерієм міцності бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій за їх неоднорідного деформування. За діаграмою $N - \varepsilon_c$ деформації бетону стиснутої грані будуть досягати своїх граничних значень $\varepsilon_{cu,N}$ при максимальних зусиллях в стиснутому бетоні N_u . Інша ситуація складається з діаграмою $M - \varepsilon_c$. По мірі деформування елементу внутрішні зусилля M зростають лише за рахунок рівнодійної зусиль в стиснутому бетоні N , бо відстань від цього зусилля до нейтральної лінії z_c безперервно зменшується. Цілком очевидно, що добуток двох зазначених величин $N \cdot z_c$ явно досягатиме свого максимального значення при граничних деформаціях бетону стиснутої грані $\varepsilon_{cu,M} < \varepsilon_{cu,N}$.

Задля перевірки даного припущення, розглянемо граничний стан відцентрово стиснутого залізобетонного елемента. При цьому будемо пам'ятати, що параметр $dM/d\varepsilon_c = 0$ приймати за екстремальний критерій міцності бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій теж не зовсім коректно. Адже беручи до уваги узагальнену діаграму стану бетонного чи залізобетонного елемента $M - 1/\rho$, це слідувало б робити за допомогою параметру $dM/d(1/\rho) = 0$ та називати його **екстремальним критерієм несучої здатності**.

Дослідження граничних деформацій бетону у відцентрово стиснутих армованих елементах здійснюватимемо з використанням наступних робочих гіпотез:

- зв'язок між напругами та деформаціями стиснутого бетону представимо повними діаграмами його деформування у вигляді неправильної дробово-раціональної функції (2)

$$\sigma_c = (a \cdot \varepsilon_c - b \cdot \varepsilon_c^2) / (1 + c \cdot \varepsilon_c), \quad (2)$$

де $a = E_{c,o}$; $b = f_c / \varepsilon_1^2$; $c = E_{c,o} / f_c - 2 / \varepsilon_1$; (3)

- зв'язок між напругами та деформаціями арматури приймемо у вигляді діаграми Прандтля, а за відсутності фізичної межі текучості описуватимемо лінійно-параболічною функцією;
- при деформуванні відцентрово стиснутих елементів вважатимемо справедливою гіпотезу плоских перерізів

$$1/\rho = (\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co})/h; \quad \text{або} \quad 1/\rho = (\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{s(u)})/d; \quad (4)$$

– несуча здатність елемента та опір його розрахункового перерізу діючим навантаженням вважається вичерпаним при порушенні відповідних умов рівноваги.

Оцінюючи напружено-деформований стан відцентрово стиснутого залізобетонного елемента, запишемо рівняння його рівноваги

$$N = \frac{b_n}{1/\rho} \left[\int_{\varepsilon_{co}}^{\varepsilon_{cu}} \frac{a \cdot \varepsilon_c - b \cdot \varepsilon_c^2}{1 + c \cdot \varepsilon_c} d\varepsilon_c + E_s \cdot (\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co}) \cdot \sum_{i=1}^n \rho_{li} \cdot \varepsilon_{si} \right]; \quad (5)$$

$$N \cdot e = \frac{b_n}{(1/\rho)^2} \left[\int_{\varepsilon_{co}}^{\varepsilon_{cu}} \frac{a \cdot \varepsilon_c^2 - b \cdot \varepsilon_c^3}{1 + c \cdot \varepsilon_c} d\varepsilon_c + E_s \cdot (\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co}) \cdot \sum_{i=1}^n \rho_{li} \cdot \varepsilon_{si}^2 \right], \quad (6)$$

де b_n - ширина перерізу елемента;

ε_{cu} і ε_{co} - граничні деформації найбільш та найменш стиснутих волокон бетону в перерізі;

E_s - модуль пружності арматури;

ρ_{li} - коефіцієнт армування перерізу елемента конкретними поздовжніми стержнями.

Приймаючи до уваги четверту гіпотезу, граничні деформації найбільш стиснутих волокон бетону знайдемо з рівняння (6), використовуючи поняття екстремального критерію несучої здатності залізобетонного елемента $dM/d(1/\rho) \Big|_{1/\rho=1/\rho_u} = 0$. Крім того, для відповідного співставлення граничних деформацій стиснутого бетону, аналогічну процедуру застосуємо і до рівняння рівноваги (5) через використання критерію $dN/d\varepsilon_c = 0$.

Результати відповідних розрахунків, виконаних навіть для відцентрово стиснутих бетонних елементів, вказують на значні розходження граничних деформацій найбільш стиснутих волокон бетону за двома вищезгаданими критеріями. Використання критерію $dN/d\varepsilon_c = 0$ в окремих випадках може завищувати граничні деформації слабких бетонів більше ніж на 30% (рис.1 і 2).

На основі проведених досліджень можна зробити наступні **висновки**:

- номінальні значення граничних деформацій стиснутого бетону у розрахунках слід обмежувати за екстремальним критерієм несучої здатності $dM/d(1/\rho)$;

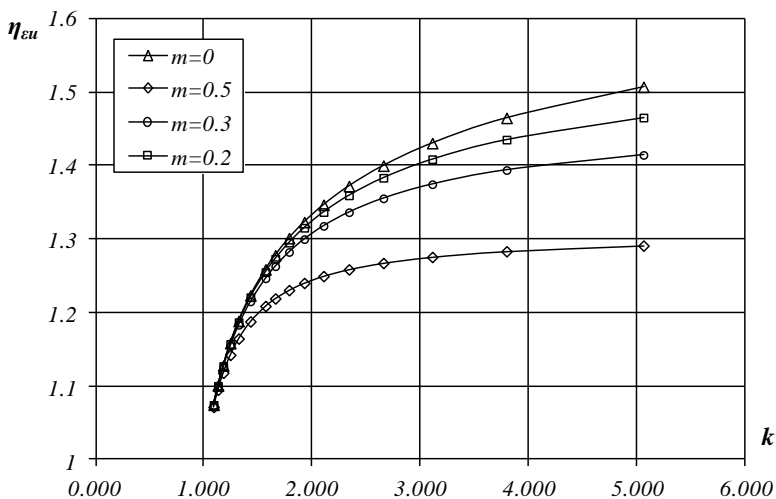


Рис.1. Граничні деформації бетону у відцентрово стиснутих бетонних елементах за критерієм $dM/d(1/\rho) = 0$ залежно від ступеню неоднорідності деформування m

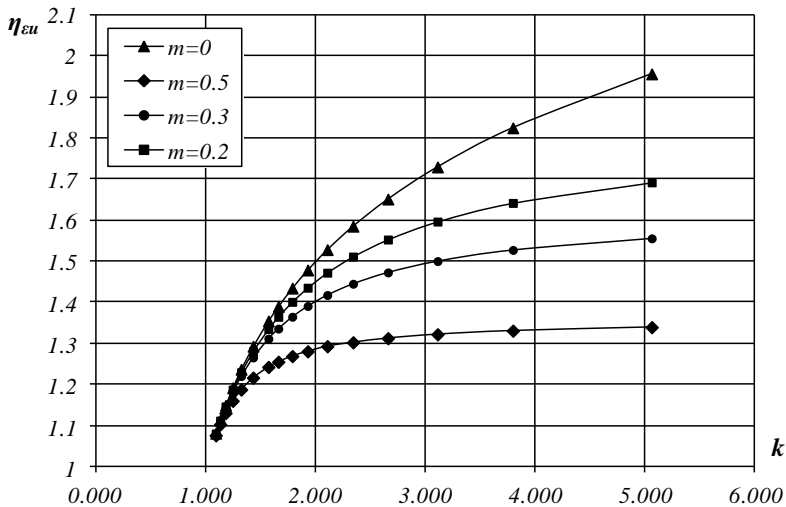


Рис.2. Граничні деформації бетону у відцентрово стиснутих бетонних елементах за критерієм $dN/d\varepsilon_c = 0$ залежно від ступеню неоднорідності деформування m

- параметр $dM/d(1/\rho)$ можна розглядати як узагальнений екстремальний критерій вичерпання несучої здатності бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій, оскільки він «поглинає» всі інші критерії, задекларовані в нормах [2];
- чим вищим є ступінь неоднорідності деформування бетону (чим меншим є параметр m), тим більшими можуть бути його граничні деформації в перерізі бетонного чи залізобетонного елемента;
- параметр $dN/d\varepsilon_c$ може виступати в якості екстремального критерію міцності лише для бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій, що зазнають осьового стиску (аналогічно і осьового розтягу).

Summary

The ground of rigorous criterion of bearing strength exhausting of concrete and reinforce-concrete elements and constructions is brought, the concept of extreme criterion of bearing strength is entered

Література

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України: ДБН В.2.6-98:2009. - [Чинні від 01.06.11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. **2.** Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування / Мінрегіонбуд України: ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. - [Чинний від 01.06.11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. - 123 с. - (Національний стандарт України). **3.** Eurocode-2: Design of Concrete Structures. – Part 1-1: General Rules and Rules for Building: EN 1992-1-1. - [Final Draft, December, 2004]. – Brussels: CEN. - 2004. - 225 р. - (Європейський стандарт). **4.** Митрофанов В.П. Предельная сжимаемость бетона нормальных сечений железобетонных элементов / В.П. Митрофанов, С.И. Арцев // Проблемы теории і практики залізобетону: Зб. наук. статей, присвячений 100-річчю з дня народження проф. М.С. Торяника. – Полтава: ПДТУ, 1997.- С. 333-337. **5.** Гамаюнов Е.И. О величине предельных деформаций бетона при сжатии / Е. И. Гамаюнов // Сб. науч. тр. ЦНИИС. – М.: Транспорт, 1968. – Вып. 24. – С. 30-36. **6.** Байков В.Н. Определение предельного состояния внецентренно сжатых элементов по неупругим зависимостям напряжения-деформации бетона и арматуры / В.Н. Байков, С.В. Горбатов // Бетон и железобетон. – 1985. – № 6. – С. 13-14. **7.** Беккиев М.Ю. Расчет изгибаемых железобетонных элементов различной формы поперечного сечения с учетом нисходящей ветви деформирования / М.Ю. Беккиев, Л.Р. Маилян // Методические разработки. – Нальчик: Кабардино-Балкарский агрономелиоративный институт, 1985. -132 с.