

УДК 624.012.35:620.173/174

**ГРАНИЧНА РІВНОВАГА ТА ГРАНИЧНІ СТАНИ В ДЕФОРМУВАННІ БЕТОННИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ І КОНСТРУКЦІЙ**

**ПРЕДЕЛЬНОЕ РАВНОВЕСИЕ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ В ДЕФОРМИРОВАНИИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

**THE LIMIT EQUILIBRIUM AND THE LIMIT CONDITIONS OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND STRUCTURES DEFORMATION**

**Ромашко В.М., к.т.н., доц.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**Ромашко В.Н., к.т.н., доц.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ривне)

**Romashko V., Ph. D. in Engineering, Associate Professor** (National University of Water Management and Nature Recourses Use, Rivne)

**В рамках узагальненої моделі деформування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій пропонується єдиний методологічний підхід до їх розрахунку за першою і другою групами граничних станів, що дозволяє повністю уникнути емпіризму в розрахункових залежностях**

**В рамках обобщенной модели деформирования бетонных и железобетонных элементов и конструкций предлагается единый методологический подход к их расчету по первой и второй группам предельных состояний, позволяющий полностью избежать эмпиризма в расчетных зависимостях**

**Unified methodological approach to concrete and reinforced concrete structures calculation over the first and the second groups of limit conditions is proposed within the framework of a generalized deformation model. It completely avoids the empiricism in calculated dependencies**

**Ключові слова:**

Деформування, рівновага, стан, залізобетон, елементи

Деформирование, равновесие, состояние, железобетон, элементы

Deformation, equilibrium, condition, reinforced concrete, elements

**Постановка проблеми.** Характерною особливістю сучасного етапу розвитку теорії бетону та залізобетону стало запровадження багатьма країнами в національних нормативних документах з проектування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій так званих деформаційних моделей їх роботи. Це призвело до широкого використання ітераційних методів у розрахунках залізобетонних елементів і конструкцій як за першою, так і за другою групами граничних станів. Однак емпіризм у розрахунках залізобетонних елементів і конструкцій за другою групою граничних станів від цього не зник, а лише набрав дещо іншої форми. Сказане найбільшою мірою стосується як визначення ширини розкриття тріщин, так і розрахунку прогинів (жорсткості).

Варто зазначити, що вирішити проблему емпіризму цілком можливо, якщо до розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій підходити з позицій моделювання діаграм їх стану. Саме подібні діаграми відображають дійсний напружено-деформований стан елементів та конструкцій через можливість прямого відтворення не тільки пластичних та реологічних властивостей матеріалів, геометричної та фізичної нелінійності їх деформування, наявності тріщин та врахування можливих відхилень геометричних розмірів від їх номінальних значень, але й просторової роботи конструкцій у складі відповідних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Від початку запровадження в практику проектування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій методів розрахунку за граничними станами [1] питання їх методологічної єдності не могло бути вирішене через відмову від використання в зазначених розрахунках дійсних діаграм деформування матеріалів. Більше того, розрахунки за першою та другою групами граничних станів в основному були методологічно розірвані спрощеною епюрою напружень в стиснутому бетоні [2, 3]. По суті останньою було заблоковано використання гіпотези плоских перерізів, яка дозволяла певним чином зв'язувати між собою визначальні параметри напружено-деформованого стану бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій.

Сам розрахунок дійсних параметрів напружено-деформованого стану залізобетонних елементів і конструкцій (несучої здатності, прогинів та ширини розкриття тріщин), співставних з результатами натурних обстежень та експериментальних досліджень, здійснювався за нормативними характеристиками матеріалів. Для визначення проектної (розрахункової) несучої здатності зазначених елементів використовувалися розрахункові характеристики матеріалів з одночасним залученням окремих емпіричних коефіцієнтів (наприклад,  $k$  для критичної сили  $N_{cr}$  [2, 3] тощо). Проектні значення експлуатаційних параметрів (прогинів та ширини розкриття тріщин) обчислювалися як і дійсні за нормативними характеристиками, але вже з залученням цілого ряду емпіричних коефіцієнтів (наприклад,  $k$  для

модуля деформацій бетону  $E_{cl}$ ;  $\eta$  для ширини розкриття тріщин  $a_T$  тощо).

Ситуація почала дещо змінюватися із запровадженням так званих деформаційних моделей [4, 5, 6, 7]. Практично повністю вдалося позбавитися використання емпіричних коефіцієнтів у розрахунках несучої здатності залізобетонних елементів і конструкцій. Однак кількість емпіричних параметрів та коефіцієнтів у розрахунках як дійсних, так і проектних значень прогинів та ширини розкриття тріщин зменшилась не надто суттєво.

**Виділення питань, не вирішених в рамках загальної проблеми.** Незважаючи на певні успіхи у побудові «деформаційних моделей» перерізів бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій [4, 5, 6, 7], єдину універсальну методику їх розрахунку, котра була б повністю позбавлена емпіризму, до цієї пори так і не запропоновано. В даному випадку мова йде про методологічну та діалектичну єдність методів розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій за першою та другою групами граничних станів. Адже проектні (розрахункові) значення експлуатаційних параметрів (прогинів та ширини розкриття тріщин) і далі продовжують обчислюватися за тими ж нормативними характеристиками матеріалів, але з залученням вже інших емпіричних коефіцієнтів (наприклад, деформаційного параметра  $\alpha$  та коефіцієнта розподілення  $\zeta$  [4, 5, 7]).

Безперечно, що забезпечити належну методологічну та діалектичну єдність всіх розрахунків можна лише за допомогою взаємного використання силових та деформаційних параметрів деформування залізобетонних елементів і конструкцій. Без сумніву, що взаємний зв'язок зазначених параметрів може бути відображений лише діаграмами стану вищезгаданих елементів.

**Мета статті.** Дана стаття загалом направлена на вироблення єдиного методологічного підходу до розрахунку бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій за першою та другою групами граничних станів. В основу такого підходу будуть закладені узагальнені закономірності деформування зазначених елементів, що дозволить забезпечити йому необхідну та достатню фізичну обґрунтованість.

**Виклад основного матеріалу.** Втрата залізобетонними елементами і конструкціями несучої здатності в їх нормальних перерізах характеризується порушенням одного із двох загальновідомих рівнянь рівноваги  $\Sigma N = 0$  та  $\Sigma M = 0$ . Зазвичай більш жорстким є друге рівняння, з якого випливає визначальна умова граничної рівноваги

$$M_{max} \leq M_u, \quad (2.1)$$

де  $M_{max}$  - максимальний згинаючий момент в залізобетонному елементі від зовнішнього навантаження;

$M_u$  - граничний за діаграмою стану залізобетонного елемента згинаючий момент від внутрішніх зусиль в його перерізі відносно нейтральної осі.

На всіх стадіях деформування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій (аж до порушення граничної рівноваги) вищезазначені рівняння мають аналітичні та графічні рішення, які зазвичай пов'язують з діаграмами їх стану та діаграмами деформування матеріалів.

Загалом, якщо вдається до змістового аналізу діаграм стану бетонного чи залізобетонного елемента, то варто зауважити, що вони можуть бути характеристичними (нормативними) або розрахунковими (рис. 1). Цілком очевидно, що перші з них можна отримати лише за використання дійсних (характеристичних) властивостей вихідних матеріалів: бетону та арматури.

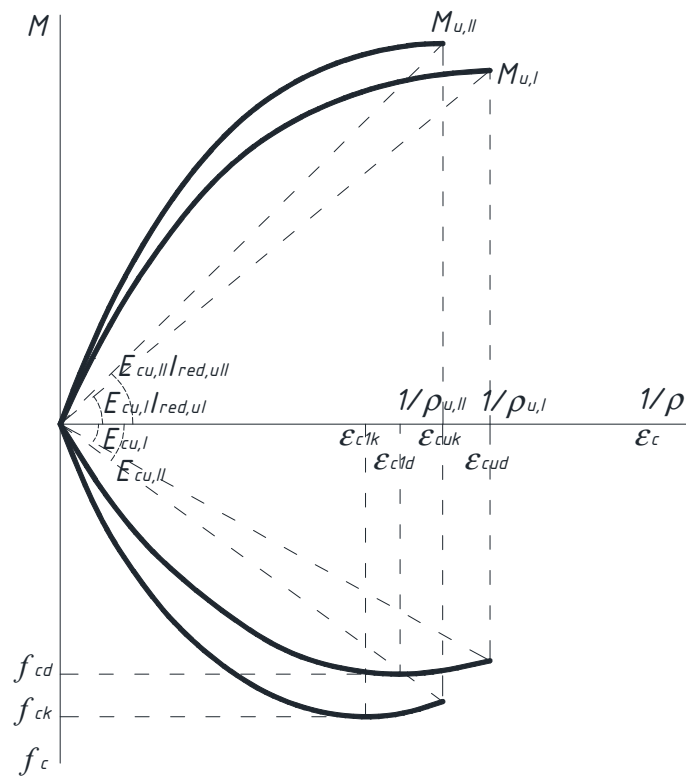


Рис. 1. Зв'язок характеристичних та розрахункових діаграм деформування стиснутого бетону з характеристичними та розрахунковими діаграмами стану залізобетонних елементів і конструкцій

А тому і використовувати її варто для оцінки дійсного напружено-деформованого стану елементів і конструкцій за результатами їх натурних обстежень або експериментальних досліджень (випробувань). За цією діаграмою можуть бути визначені базові (дійсні) параметри напружено-

деформованого стану елемента: несуча здатність  $M_{u,II} = M_o$ , ширина розкриття тріщин  $w_{II} = w_o$  та прогин  $y_{II} = y_o$  (рис. 2).

Однак у практиці проектування залізобетонних елементів і конструкцій все ж таки необхідно покладатися на розрахункові діаграми їх стану. Адже, внаслідок можливої мінливості міцнісних та деформаційних властивостей матеріалів (рис. 1) із-за впливу різних технологічних, конструкційних та експлуатаційних факторів, дійсні параметри напружено-деформованого стану елементів і конструкцій  $M_{u,I} = M_u$ ,  $w_I = w_k$  та  $y_I = y_k$  можуть суттєво відрізнитися від базових  $M_o$ ,  $w_o$  та  $y_o$  (рис. 2).

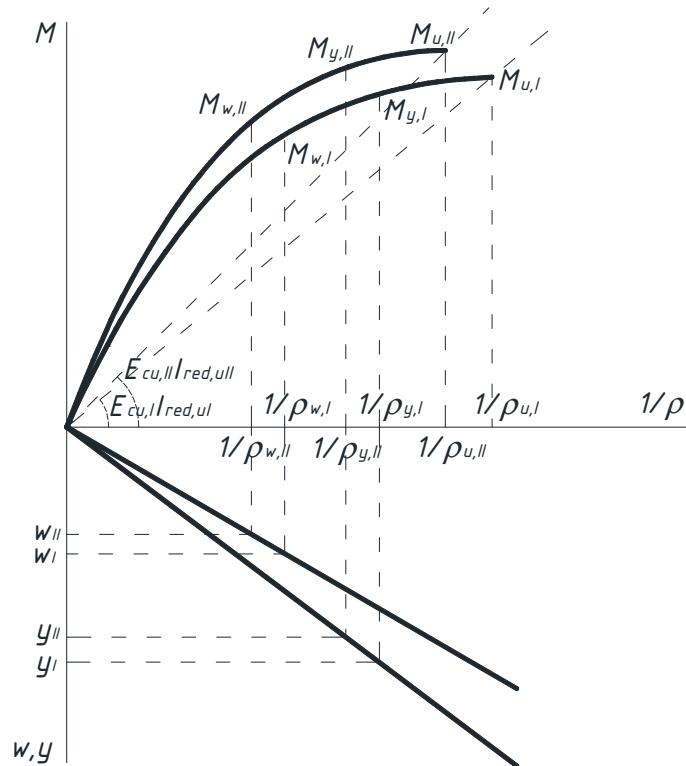


Рис. 2. Зв'язок характеристикних та розрахункових діаграм стану залізобетонних елементів і конструкцій з базовими та розрахунковими параметрами їх деформування

Таким чином, розрахункові діаграми стану залізобетонних елементів і конструкцій загалом передбачають ймовірне послаблення бетону з одночасним підвищенням параметрів його деформативності. Тому за

подібних обставин відпадає потреба у використанні різних емпіричних коефіцієнтів, що підвищують базові (нормативні) параметри деформування залізобетонних елементів ( $w_o, y_o$ ) [8] до рівня розрахункових ( $w_k, y_k$ ).

Виходячи з вищесказаного, можна зробити наступні **висновки**:

- універсальна методика розрахунку бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій повинна забезпечувати повне відтворення дійсних діаграм їх деформування (стану);
- узагальнені діаграми стану бетонного чи залізобетонного елементу можуть бути характеристичними (нормативними) або розрахунковими;
- характеристичні діаграми стану необхідно використовувати для оцінки дійсного напружено-деформованого стану елементів і конструкцій за результатами їх натурних обстежень чи експериментальних досліджень (випробувань) та при визначенні базових (нормативних) значень експлуатаційних параметрів деформування залізобетонних елементів і конструкцій (прогинів, ширини розкриття тріщин тощо);
- розрахункові діаграми стану залізобетонних елементів і конструкцій необхідно використовувати при визначенні їх несучої здатності та при обчисленні граничних (максимально можливих або розрахункових) значень експлуатаційних параметрів їх деформування;
- в основі характеристичних або розрахункових діаграм стану елементів і конструкцій лежать характеристичні або розрахункові діаграми деформування відповідних матеріалів.

1. Гольденблат И.И. Основные положения метода расчета строительных конструкций по расчетным предельным состояниям и нагрузкам / И.И. Гольденблат. - М.: Госстройиздат, 1955. – 35 с. 2. Новое о проектировании бетонных и железобетонных конструкций / А.А. Гвоздев, А.С. Дмитриев, Ю.П. Гуца и др.; Под ред. А.А. Гвоздева. – М.: Стройиздат, 1978. – 204 с. 3. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР: СНиП 2.03.01-84\*. – [Введ. 01.01.86, изм. 01.01.90]. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с. 4. Конструкции бетонные и железобетонные / Минстройархитектуры Республики Беларусь: СНБ 5.03.01-02. - [Введ. 01.07.03]. – Мн.: Минстройархитектуры, 2003. –139 с. – (Національний стандарт Білорусії). 5. 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 p. - (Європейський стандарт). 6. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры / Госстрой России: СП 52–101–2003. - [Введ. 01.03.04]. – М.: ЦПП НИИЖБ, 2004. – 53 с. – (Національний стандарт Російської Федерації). 7. 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. – (Національний стандарт України). 8. Ромашко В.М. Основи теорії тріщиностійкості залізобетонних елементів та конструкцій / В.М. Ромашко // Теорія і практика будівництва: Вісник НУ «Львівська політехніка». - Львів, 2013. – № 755. – С. 357-363.