

БАМБУРА А.М, ГУРКІВСЬКИЙ О.Б., АМЕТОВ Ю.Г., БЕЗБОЖНА М.С.,
ДОРОГОВА О.В., САЗОНОВА І.Р.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

СТОРОЖЕНКО Л.І.

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка
м. Полтава, Україна

УДК 624.012.45/46.006.06

НОВЕ В ПРОЕКТУВАННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТА СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Ключеві слова: бетонні, залізобетонні, сталезалізобетонні конструкції, деформаційний метод, опір зсуву, впливи зовнішнього середовища

Наводяться основні вимоги і положення щодо проектування бетонних, залізобетонних та сталезалізобетонних конструкцій за національними будівельними нормами ДБН В.2.6.-98:2009 та ДБН В.2.6-160.

Приведены основные требования и положения проектирования бетонных, железобетонных и сталежелезобетонных конструкций по национальным нормам ДБН В.2.6.-98:2009 и ДБН В.2.6-160.

The basic requirements and statements for designing of the concrete, reinforced concrete and steel-concrete structures according to Ukrainian national standards «ДБН В.2.6.-98:2009» and «ДБН В.2.6.-160» are presented.

Уже біля двох років, як набрали чинності національні нормативні документи щодо проектування бетонних, залізобетонних та сталезалізобетонних конструкцій за національними нормами ДБН В.2.6.-98:2009 і ДБН В.2.6-160:2010 [1,2]. Основною задачею розробки національних нормативних документів з проектування бетонних, залізобетонних та сталезалізобетонних конструкцій є наближення їх вимог

до вимог і правил (принципів) проектування за EN 1992-1-1:2004. Звісно, що повний перехід на використання в нашій державі Єврокодів потребує деякий період адаптації, протягом якого всі сторони будівельного процесу одержать досвід роботи з Європейськими стандартами без радикальних змін в існуючій практиці. Тому, прийнятий підхід поступового переходу на основі розробки національних нормативних документів максимально, наскільки це можливо, наближених до Єврокоду-2. Причому, національна нормативна база щодо проектування бетонних і залізобетонних конструкцій, буде складатись з нормативного документа рівня ДБН і ряду ДСТУ, які повинні забезпечити виконання вимог до будівельних конструкцій в повному, наскільки це можливо, обсязі. Метою такої розробки є створення нормативної бази з проектування залізобетонних конструкцій зі звичайного важкого бетону, що відповідає сучасним вимогам щодо несучої здатності, надійності і довговічності, а також враховує основні вимоги до таких конструкцій EN 1992-1-1: 2004 і EN 1994-1-1:2004 та усуває перешкоди між національними кордонами для вільного переміщення товарів, послуг та капіталів.

У нормативних документах ДБН В.2.6.-98:2009 та ДБН В.2.6-160:2010 досягнуто часткового наближення до європейських стандартів EN 1992-1-1: 2004 та EN 1994-1-1:2004. В основу вказаних документів ДБН покладені основні вимоги (як їх називають в Єврокоді - «принципи») яким повинні відповідати залізобетонні конструкції з точки зору забезпечення безпеки будівельних об'єктів. В той же час, враховані існуючі у нашій країні традиції і реальні умови виробництва. У перспективі передбачена загальна уніфікація методів розрахунку і проектування будинків і споруд з бетону і залізобетону відповідно до Єврокодів.

Положення, що включені в норми, базуються на національному досвіді і беруть до уваги тип продукції, умови виробництва, необхідну точність і т.п. Однак, при цьому,

вони повинні гарантувати безпеку будівельних об'єктів.

ДБН В.2.6.-98:2009 та ДБН В.2.6-160:2010 передбачають, що надійність залізобетонних конструкцій, будинків і споруд забезпечується наступним комплексом заходів і умов:

- конструкції проектується персоналом відповідної кваліфікації та досвіду з дотриманням вимог, що передбачені в технічній нормативній базі будівельної галузі, або з належним обґрунтуванням прийнятих припущень та/або методів;
- забезпечується відповідний нагляд і контроль якості та послідовності технологічних операцій на підприємствах і будівельному майданчику;
- будівництво здійснює персонал, який має необхідні навички і досвід;
- конструкційні матеріали та вироби застосовуються так, як це визначено у даних нормах або у відповідних специфікаціях на матеріали і вироби;
- забезпечується відповідний нагляд за експлуатацією будівлі чи споруди;
- будівля чи споруда буде експлуатуватися згідно з призначенням за проектом.

Принциповою відмінною рисою норм, що розроблені, є перехід на деформаційні методи розрахунку [7]. Це означає, що необхідно, в деякій мірі, освоєння нової ідеології розрахунку, хоча деформаційний метод не є чимось зовсім новим і давно був розроблений в Україні [4].

За останні роки світова практика істотно поповнилася експериментальними даними, як щодо фізико-механічних властивостей матеріалів, так і щодо роботи бетонних і залізобетонних конструкцій. Результати досліджень дозволяють з достатньою точністю і вірогідністю описувати діаграму « $\sigma_c - \epsilon_c$ » бетону й широко її використовувати в практиці проектування об'єктів, які зазнають складні види впливів.

Основною перевагою діючих нині норм (СНиП) виступає їхня простота, яка базується переважно на емпіричних

методах розрахунку, що призвело до втрати фізичного сенсу розрахунків. Однак, з огляду на широку комп'ютеризацію розрахунків, сьогодні ця перевага втратила свою актуальність.

Використання комп'ютерів дозволяє проектувати складні конструктивні системи враховуючи геометричну і фізичну нелінійність при складних силових і деформаційних впливах.

Методи загальної теорії залізобетону дозволяють досить точно оцінити не тільки напружено-деформований стан конструкції, але і її несучу здатність у цілому. Інші методи розрахунку в багатьох випадках не можуть дати достовірних результатів оцінювання як у кількісному, так і в якісному відношенні.

На даний момент робота по визначенню статистично обґрунтованих параметрів діаграм «напруження-деформації» для бетону й арматури практично завершена [5, 6]. І як наслідок – основну перешкоду для застосування деформаційних методів розрахунку було усунено.

Розрахунковий апарат по оцінці опору нормальних перерізів елементів, що згинаються і позатентрово стиснутих в ДСТУ побудований на наступних гіпотезах й допущеннях:

- за розрахунковий приймається усереднений переріз, що відповідає середнім деформаціям бетону та арматури по довжині блока між тріщинами, якщо такі є;
- деформації у звичайній арматурі або попередньо напруженій арматурі однакові з оточуючим їх бетоном, як при розтягу, так і при стиску;
- для розрахункового перерізу вважається справедливою гіпотеза про лінійний розподіл деформацій по його висоті;
- зв'язок між напруженнями та деформаціями стиснутого бетону приймається у вигляді діаграм, які показані на рис. 1 (а або б);
- зв'язок між напруженнями та деформаціями у арматурі приймається у вигляді діаграм, які наведені на рис. 2.

При цьому:

- для обох видів (звичайної та попередньо напруженої) арматури при $|\epsilon_u| > \epsilon_{su}$, $\sigma_s = 0$ (вважається, що стався розрив арматури);
- при визначенні напружень у попередньо напруженій арматурі ураховуються початкові деформації (деформації викликані попереднім напруженням з урахуванням всіх втрат на час завантаження конструкції) цієї арматури;
- роботу бетону розтягнутої зони допускається не враховувати, приймаючи при $\epsilon_{ct} \leq 0$ напруження $\sigma_{ct} = 0$; для конструкцій, у яких не допускається утворення тріщин, розрахунок опору виконують з урахуванням того, що деформації бетону найбільш розтягнутого волокна не повинні перевищувати $\epsilon_{cu} = -2f_{ctk,0.05}/E_{ctk}$.

За критерій вичерпання несучої здатності перерізу приймається:

- втрата рівноваги між внутрішніми та зовнішніми зусиллями (досягнення максимуму на діаграмах "момент-кривизна (прогин)" або «стискаюча сила – прогин (осьові деформації)») – екстремальний критерій;
- руйнування стиснутого бетону при досягненні фібровими деформаціями граничних значень (ϵ_{cu3} , ϵ_{cu3}) або розрив усіх розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій ϵ_u або ϵ_{ud} .

Розрахунок виконується за деформаційною методикою, сутність якої полягає у тому, що урахується приріст не

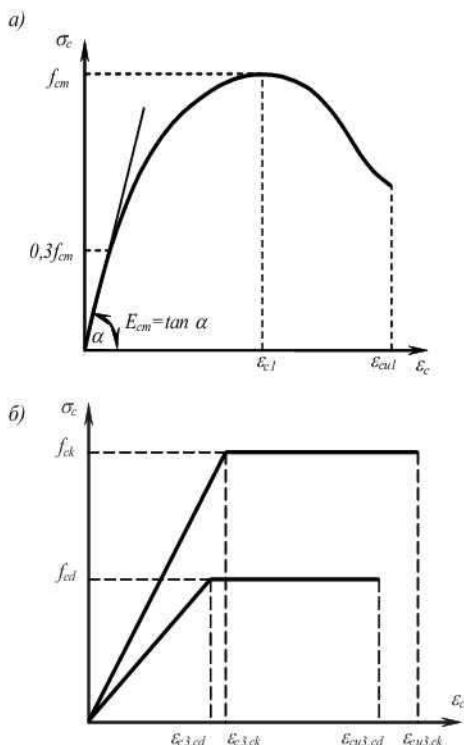


Рис. 1. Діаграма «напруження-деформації» бетону:
а) – криволінійна; б) дволінійна

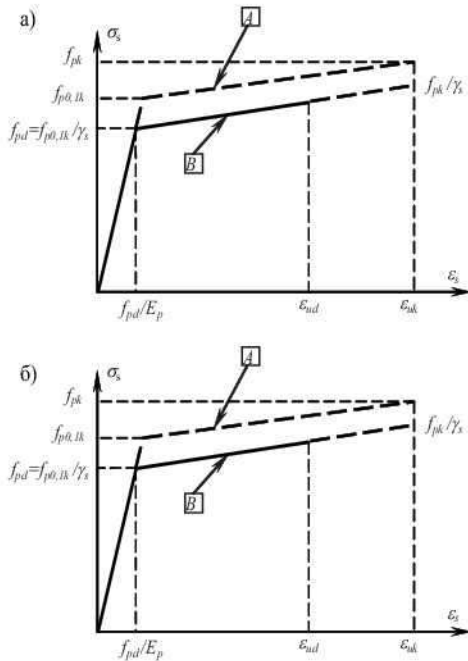


Рис. 2. Спрощені діаграми «напруження-деформації» звичайної (а) та попередньо напруженої (б) арматури для розрахунку за граничними станами першої та другої групи

зусиль (дій), а деформацій у перерізі. Приймається таке правило знаків: для стиску як бетону, так і арматури знак додатний, для розтягу – від’ємний. Розрахунки залізобетонних конструкцій за несучою здатністю, враховуючи повну криволінійну діаграму « $\sigma_c - \epsilon_c$ » із низхідною гілкою [3, 5], легко можуть бути реалізованими на ЕОМ і застосовуватися проектними організаціями.

Розроблений деформаційний метод розрахунку на основі реальних діаграм деформування бетону й арматури дозволяє достатньо точно визначити несучу здатність звичайних і попередньо напружених залізобетонних елементів, що згинаються і позакентровано стиснутих при короткочасному, тривалому, не багаторазово повторному навантаженні, враховуючи простий і плоский напружений стан і вплив поздовжнього градієнта напруження. Запропонований апарат апробовано шляхом співставлення розрахункових та експериментальних даних, при розробці технічних умов на збірні залізобетонні плити для доріг, прямокутні й центрифуговані опори зі змішаним армуванням для ліній електропередач, центрифуговані опори контактної мережі

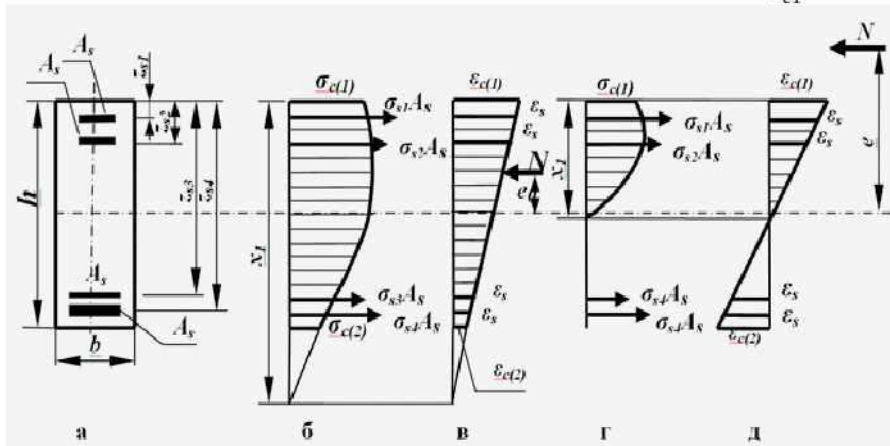


Рис. 3. Напружено-деформований стан прямокутного перерізу

залізниць та інше.

У той же час практика показує, що в багатьох випадках простота конструктивних рішень (наприклад, поперечний переріз прямокутної, таврової і двотаврової форм) і недостатнє забезпечення вихідними даними (наприклад, навантажень, характеристик матеріалів, умов експлуатації і т.п.) дає підстави для спрощення розрахунків до прийнятної точності, така можливість надана ДБН 2.6-98.

В якості прикладу наведемо розрахункові рівняння та алгоритм визначення напружено-деформованого стану для прямокутного перерізу. Відповідно до прийнятих передумов при використанні формули (3.5) ДБН 2.6-98 напружено-деформований стан прямокутного перерізу при позакентрованому стиску і згині наведений на рис. 3. При цьому може виникнути два випадки (дві форми рівноваги перерізу):

- весь переріз стиснутий;
- в перерізі є зона розтягу.

Для першої форми рівняння рівноваги набувають вигляду:

$$\frac{bf_{cd}}{N} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \frac{\epsilon_c^{k+1} - \epsilon_{c(2)}^{k+1}}{\epsilon_{c1}^{k+1}} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} - N = 0 \quad (1)$$

$$\frac{bf_{cd}}{N^2} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \frac{\epsilon_c^{k+2} - \epsilon_{c(2)}^{k+2}}{\epsilon_{c1}^{k+2}} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_{1i} - z_{si} - M = 0 \quad (2)$$

Для другої форми рівноваги, рівняння в розгорнутому вигляді записуються:

$$\frac{bf_{cd}}{N} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \gamma^{k+1} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} - N = 0 \quad (3)$$

$$\frac{bf_{cd}}{N^2} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \gamma^{k+2} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_{1i} - z_{si} - M = 0 \quad (4)$$

У формулах (1) - (4):

$N = \frac{1}{\rho} = \frac{(\epsilon_{c(1)} - \epsilon_{c(2)})}{h}$ - кривизна вигнутої осі в перерізі;

$\epsilon_{c(1)}$ - деформації бетону стиснутої фібри;

$\epsilon_{c(2)}$ - осереднені деформації розтягнутої фібри бетону;

$$\gamma = \frac{\epsilon_{c(1)}}{\epsilon_{c1}} ; x_1 = \frac{\epsilon_{c(1)}}{N}$$

- висота стиснутої зони;

$N = \sum \epsilon_{c(1)}$ - відносна кривизна;

z_{si} - відстань i-го стрижня або шарку арматури від найбільш стиснутої грані перерізу;

$N i M$ - значення зовнішньої нормальної сили і згинального моменту відповідно.

В формулах (1 - 4) при згині $N = 0$, а при позакентрованому стиску

$$M = N (x_1 - y + e), \quad (5)$$

де y - відстань від найбільш стиснутої фібри до центра ваги перерізу; e - ексцентриситет прикладення зовнішньої сили

щодо центра ваги перерізу, інші позначення наведені на рис. 3.

Напруження в довільному шарі армування визначаються за діаграмами деформування звичайної або попередньо напруженої арматури згідно з рекомендаціями, які викладені в 3.2.1.11 та 3.2.2.12 ДСТУ Б В.2.6-156, виходячи з того, що деформації визначаються за формулою

$$\varepsilon_{si} = \kappa X_1 - z_{si} + \varepsilon_{si,0} \quad (6)$$

де $\varepsilon_{(si,0)}$ – початкові (до прикладення зовнішніх зусиль) деформації i -го арматурного стрижня (обумовлені, наприклад, усадкою бетону чи попереднім напруженням з урахуванням відповідних втрат попереднього напруження).

Системи двох нелінійних алгебраїчних рівнянь (1 - 2) і (3 - 4) з двома невідомими розв'язуються підбором з контролем критеріїв вичерпання несучої здатності на кожному кроці розрахунків. При цьому можливі кілька варіантів пошуку рішення. Для оцінки напружено-деформованого стану розрахункового перерізу використовується деформаційний метод, алгоритм розв'язання задачі згідно деформаційного методу наведеного в [6].

За результатами рішення систем рівнянь (1 - 2) і (3 - 4) будуються діаграми «момент – кривизна» для елементів що згинаються або «нормальна сила-деформації стиснутої грані» для позацентрово стиснутих елементів. Найбільші величини зафіксовані на цих діаграмах і приймаються за несучу здатність. В разі, якщо визначені величини несучої здатності будуть меншими за зовнішні впливи необхідно виконати зміну розмірів перерізу, армування або міцності бетону. Величини зовнішніх впливів і підрахованої несучої здатності, як правило, не повинні відрізнятись більше ніж на 5 %.

Значення величин $\varepsilon_{cul,cb}$, f_{cb} , E_{cb} , f_{yd} , E_s приймають згідно таблиці 3.1 [1] та 3.2 [2].

В розглядуваних нормативних документах новим є підхід щодо розрахунків опору залізобетонних елементів поперечній силі. Аналіз чинних нормативних документів та Єврокоду-2 показав, що на сьогодні не існує методів розрахунку залізобетонних елементів на поперечну силу які враховують всі фактори, які впливають на опір перерізу вказаному впливу. Методи розрахунку опору залізобетонного елемента поперечній силі які базуються на деформаційній моделі і які враховують сумісний вплив поперечної сили та

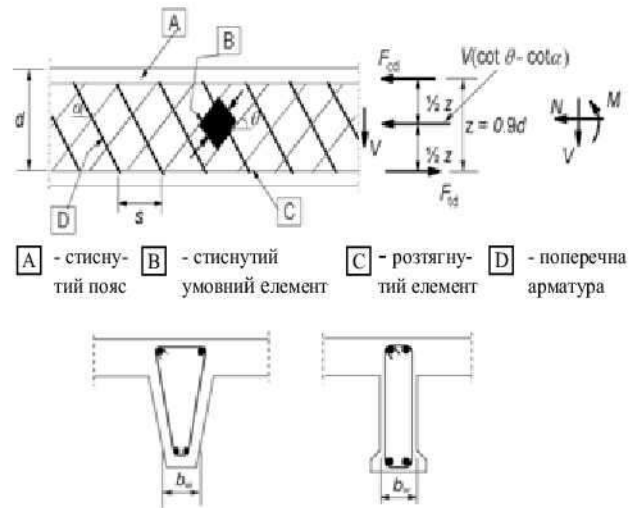


Рис. 4. «Фермова» модель і позначення для елементів з поперечним армуванням

моменту, не є достатньо перевіреними на практиці. Тому, розрахунки залізобетонних елементів на вплив поперечної сили пропонується виконувати за фермовою моделлю (рис. 4), яка використовується в Єврокодї-2.

Якщо є необхідність урахування впливів другого порядку то рівновага і опір конструкції потрібно перевіряти у деформованому стані. Деформації потрібно визначати з урахуванням відповідного впливу тріщиноутворення, нелінійних властивостей матеріалів і повзучості. При цьому у відповідних випадках, розрахунок повинен урахувати вплив гнучкості прилеглих елементів і фундаментів (взаємодія «основа-споруда»).

Впливами другого порядку можна знехтувати, якщо вони разом становлять менше, ніж 10 % відповідних впливів першого порядку.

Проектування залізобетонних конструкцій за другою групою граничних станів та конструювання практично повністю запозичене з Єврокоду-2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6.-98:2009. - [Чинний від 2009-12-24]. - К.: Укрархбудінформ, 2009. - 71 с. - (Національний стандарт України).
2. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-160:2010. - [Чинний від 2011-01-09]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011. - 55 с. - (Національний стандарт України).
3. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. - [Чинний від 2011-06-01]. - К.: Укрархбудінформ, 2011. - 118 с. - (Національний стандарт України).
4. Бамбура А.Н. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / Бамбура А.Н., Бачинский В.Я. - К.: НИИСК Госстроя СССР, 1987. - 25 с.
5. Бачинский В.Я. Некоторые вопросы, связанные с построением общей теории железобетона / Бачинский В.Я. // Бетон и железобетон. - 1984. - №10. - С. 18-19.
6. Бамбура А.Н. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе / Бамбура А.Н., Гурковский А.Б. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: НДІБК. - 2003. - № 59. - С. 121- 130.
7. Деформаційна модель та алгоритм визначення напружено-деформованого стану розрахункового перерізу залізобетонних елементів / [Бамбура А.М., Гурківський О.Б., Безбожна М.С., Дорогова О.В.] // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. - Днепропетровск, ПГАСА, 2009. - Вып. №50. - С. 19-25.