

РОЗРАХУНОК ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДЕФОРМАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

Аметов Ю.Г., Бамбура А.М.

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

АНОТАЦІЯ: Розглянуто основні положення методики і алгоритм розрахунку несучої здатності позацентрово стиснутих сталезалізобетонних конструкцій.

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены основные положения методики и алгоритм расчета несущей способности внецентренно сжатых сталежелезобетонных конструкций.

ABSTRACT: The main provisions of the methodology and algorithm for calculating the bearing capacity of eccentrically compressed composite structures is considered.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Позацентровий стиск, сталезалізобетонні конструкції, деформаційний метод, алгоритм розрахунку.

ВСТУП

В діючому національному нормативному документу ДБН В.2.6-160:2010 «Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення» [1] викладені основні положення з розрахунку і конструювання сталезалізобетонних конструкцій.

Вказаний нормативний документ встановлює основні вимоги, яким повинні відповідати сталезалізобетонні конструкції будівель та споруд, а також основні правила щодо їх проектування, вимоги до матеріалів, розрахунку і конструювання. При розробці цього нормативного документу враховані основні положення (принципи) EN 1994-1-1:2004. Єврокод 4:

Проектування комбінованих сталобетонних конструкцій. Частина 1-1: Загальні правила і правила для споруд [2].

В ДБН В.2.6-160 [1] передбачена розробка документів другого рівня (ДСТУ) з питань розрахунку і конструювання згинальних і стиснутих сталезалізобетонних елементів, комбінованих плит з профільованими настилами, а також зсувних з'єднань.

В рамках даної роботи розглянуто деякі питання розрахунку несучої здатності позацентрово стиснутих сталезалізобетонних елементів.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Як показано в роботі [3], головні передумови розрахунку сталезалізобетонних елементів прийняті по аналогії з залізобетонними конструкціями згідно з [4].

За критерій вичерпання несучої здатності поперечного перерізу приймається:

- втрата рівноваги між внутрішніми та зовнішніми зусиллями (досягнення максимуму на діаграмі «стискаюча сила–прогин» або «момент–кривизна»);

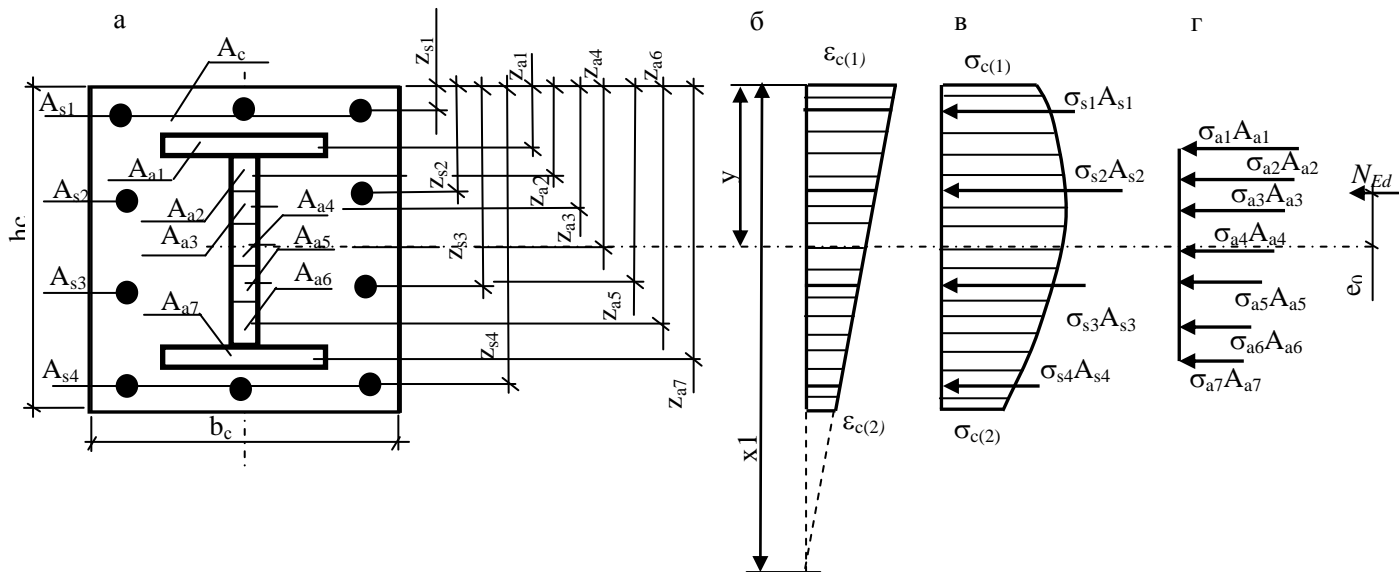
- руйнування стиснутого бетону при досягненні крайніми стиснутими деформаціями граничних значень (табл. 3.1 ДБН В.2.6-98 «Бетонні та залізобетонні конструкції.» [4]) або розрив усіх розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій (3.2.6 ДБН В.2.6-98);

- досягнення крайніми стиснутими/розтягнутими деформаціями сталеві частини поперечного перерізу граничних значень (6.3.3 [4]).

Розрахунок виконується за деформаційною методикою, сутність якої полягає у тому, що для розрахунку використовується приріст не зусиль (впливів), а деформацій у перерізі.

Як і при розрахунку згинальних елементів [5] для виконання розрахунку позацентрово стиснутих сталезалізобетонних конструкцій сталева частина розрахункового перерізу розбивається на m шарів, в межах висоти яких напруження вважаються постійними, а розподіл деформацій по висоті сталевих елементів за лінійним законом.

В загальному випадку відповідно до прийнятих передумов при використанні формули (3.5) ДБН В.2.6-98 напружено-деформований стан сталезалізобетонного елемента прямокутного перерізу при позацентровому стиску має вигляд наведений на рисунку 1. Положення нейтральної вісі і розподіл деформацій визначають з рівнянь рівноваги зовнішніх і внутрішніх зусиль. При цьому може реалізуватись дві форми рівноваги перерізу: нейтральна вісь знаходиться за межами і в межах перерізу.



а – поперечний переріз елемента; б – епюра деформацій; в – епюра напружень в бетоні і арматурі; г – епюра напружень в сталевій частині перерізу

Рис. 1. Напружено-деформований стан стиснутого сталезалізобетонного елемента прямокутного перерізу для першої форми рівноваги

Послідовність отримання розрахункових залежностей покажемо на прикладі першої форми рівноваги (рис. 1). Рівняння рівноваги при цьому мають вигляд

$$\frac{f_{cd}b_c}{\aleph} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+1} - \varepsilon_{c(2)}^{k+1}}{\varepsilon_{c(1)}^{k+1}} \right) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} + \sum_{m=1}^l \sigma_{am} A_{am} - N_{Ed} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{f_{cd}b_c}{\aleph^2} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+2} - \varepsilon_{c(2)}^{k+2}}{\varepsilon_{c(1)}^{k+2}} \right) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (x_1 - z_{si}) + \sum_{m=1}^l \sigma_{am} A_{am} (x_1 - z_{am}) - M_{Ed} = 0. \quad (2)$$

У формулах (1) і (2) позначено:

$$\aleph = \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} \text{ – кривизна вигнутої осі в перерізі;}$$

$\varepsilon_{c(1)}$ і $\varepsilon_{c(2)}$ – деформації стиснутої і розтягнутої фібри перерізу;

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)} / \varepsilon_{c(2)}; \quad x_1 = \frac{(\varepsilon_{c(1)})}{\aleph} \text{ – висота стиснутої зони;}$$

$$\bar{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c(1)}} \text{ – відносна кривина;}$$

z_{si} і z_{am} – відстань і-го стрижня арматури і m-го шару сталевого профілю від найбільш стиснутої грані перерізу;

N_{Ed} – розрахункове значення зовнішньої нормальної сили;

$$M_{Ed} = N_{Ed}(x_1 - y + e), \quad (3)$$

В формулі (3) y – відстань від найбільш стиснутої фібри до центра ваги перерізу; e – ексцентриситет прикладення зовнішньої сили щодо центра ваги перерізу.

Напруження в арматурі і сталі $\sigma_{s(a)}$ визначають в залежності від відносних деформацій $\varepsilon_{s(a)}$ згідно діаграми стану арматури і сталі за формулами:

$$\text{при } 0 \leq \varepsilon_{s(a)} < \varepsilon_{s0(a0)}$$

$$\sigma_{s(a)} = \varepsilon_{s(a)} \times E_{s(a)}; \quad (4)$$

$$\text{при } \varepsilon_{s0(a0)} \leq \varepsilon_{s(a)} \leq \varepsilon_{sud(aud)}$$

$$\sigma_{s(a)} = f_{syd(aud)} \quad (5)$$

В наведених формулах нижні індекси означають: (s) – арматура; (a) – конструкційна сталь.

Алгоритм рішення системи нелінійних рівнянь рівноваги (1) і (2) приймається наступним.

Для розв'язання задачі необхідно мати такі вихідні дані: параметри перерізу; початковий ексцентриситет прикладання навантажень e_0 ; параметри діаграми деформування бетону – f_{cd} , E_{cd} , $\sigma_{cu}(\beta)$, ε_{cu1} або ε_{cu3} , $\varepsilon_{c(1)}$ (ці параметри можна взяти з таблиці 3.1 ДБН В.2.6-98); коефіцієнти полінома a_k в формулах (1) і (2) (з додатка Д ДБН В.2.6-98); параметри армування стрижневою арматурою – R_{si} , E_{si} , A_{si} ; відстань від верхньої (найбільш стиснутої) грані перерізу до і-го шару армування z_{si} і сталеві частини перерізу z_{ai} ; початкові (викликані попереднім напруженням, усадкою чи іншими чинниками при необхідності) деформації в і-му стержні арматури $\varepsilon_{si,0}$ і m-му шарі сталеві частини перерізу $\varepsilon_{ami,0}$.

При визначенні напружено-деформованого стану перерізу задача може розв'язуватись у трьох постановках:

- при заданих зусиллях N_{Ed} та M_{Ed} необхідно визначити кривизну в перерізі \aleph і деформації ε ;
- при заданих величинах кривизни в перерізі і діючого в ньому осьового зусилля N_{Ed} визначити величину згинального моменту M_{Ed} ;
- необхідно побудувати повну криву стану перерізу аж до руйнування бетону.

Перша і третя з названих задач розв'язується за таким алгоритмом.

1. На першому кроці розрахунку задаються величини деформацій

$$\varepsilon_{c(1)} = \Delta \varepsilon_{c(1)}^{(0)} \text{ та } \Delta \varepsilon_{c(2)}^{(0)} = 0, \text{ причому на перших кроках підрахунків}$$

$\Delta \varepsilon_{c(1)}^{(0)}$ рекомендується приймати таким, що дорівнює $0,1\varepsilon_{cu1}$ або $0,1\varepsilon_{cu3}$.

$$2. \text{ Підраховують величини } \aleph = \frac{1}{\rho} = \frac{(\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)})}{h}, \quad \gamma = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c1}},$$

$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}$, σ_{si} , і σ_{ami} . Напруження в арматурі σ_{si} розраховують за (4) і (5),

де $\varepsilon_{si} = \aleph(x_1 - z_{si}) + \varepsilon_{si,0}$, напруження в m-му шарі сталеві частини перерізу σ_{ami} – за (4) і (5), де $\varepsilon_{ami} = \aleph(x_1 - z_{mi}) + \varepsilon_{ami,0}$.

3. Визначають зусилля в перерізі за формулою (1).

4. Визначену величину зусилля N_{Ed} та інші параметри підставляють у рівняння рівноваги (2). За результатами розв'язання рівняння (2) можлива реалізація двох випадків:

- ліва частина більша за нуль. Це свідчить про наявність форми рівноваги I, тобто весь переріз стиснутий;

- ліва частина менша за нуль. Це свідчить про наявність форми рівноваги II, тобто частина перерізу розтягнута.

5. При реалізації першої форми рівноваги необхідно виконати наступні дії:

а) визначити нову величину деформацій на менш стиснутій грані:

$$\varepsilon_{c(2)}^{(1)} = \varepsilon_{c(2)}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(2)},$$

при цьому на першому кроці (циклі) рекомендується приймати

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = 0,1\varepsilon_{cul};$$

б) перевірити рівняння рівноваги (2), виконавши дії за п. 2 і п. 4, і якщо ліва частина залишилась більшою за нуль, ще раз збільшити деформацію $\varepsilon_{c(2)}$ на величину $\Delta\varepsilon_{c(2)}$, тобто прийняти

$$\varepsilon_{c(2)}^{(2)} = \varepsilon_{c(2)}^{(1)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = \varepsilon_{c(2)}^{(0)} + 2\Delta\varepsilon_{c(2)};$$

в) покрокове збільшення деформації на менш стиснутій грані перерізу виконувати доти, доки ліва частина рівняння (2) не змінить знак.

6. Після зміни знака рівняння рівноваги (2) оцінюють точність розв'язку. Точність розв'язку вважають достатньою при значенні $\Delta\varepsilon_{c(2)} = 0,02\varepsilon_{cul}$.

7. У разі, коли точність розв'язку недостатня, визначають нову величину деформації, повертаючись кроком назад:

$$\varepsilon_{c(2)}^{(k+1)} = \varepsilon_{c(2)}^{(k)} - \Delta\varepsilon_{c(2)}^{(k+1)},$$

і призначають нову величину приросту деформацій: $\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(k+1)} = 0,01\varepsilon_{c(2)}^{(k)}$.

Далі виконують обчислення за пп. 5, а, 5, б і 5, в доти, доки не буде досягнута достатня (задана) точність виконання умови (2) після l ітерацій:

$$\varepsilon_{c(2)}^{(m)} = \varepsilon_{c(2)}^{(m-1)} + \Delta\varepsilon_{c(2)}^{(m)}.$$

Після досягнення заданої точності розв'язку будемо мати першу точку на діаграмі стану перерізу.

8. Для отримання наступних точок діаграми стану перерізу необхідно збільшити деформації на більш стиснутій грані, тобто

$$\varepsilon_{c(1)}^{(k)} = \varepsilon_{c(1)}^{(k-1)} + \Delta\varepsilon_{c(1)},$$

і виконати дії відповідно до п.п. 2-7, зберігаючи на першій ітерації величину деформації на менш стиснутій грані, яка отримана на попередньому кроці розрахунку.

Як правило, при значенні $\Delta\varepsilon_{c(1)}=0,1\varepsilon_{cul}$ отримують результати з достатньою точністю, але якщо необхідно отримати результати з більшою точністю, можна використати дрібніші значення $\Delta\varepsilon_{c(1)}$. У будь-якому разі,

при значеннях $\Delta\varepsilon_{c(1)} < 0,05\varepsilon_{cul}$ точність розв'язку практично не покращується.

9. Величина N_{Ed} , яка відповідає максимуму на діаграмі стану перерізу « $N - \varepsilon_{c(1)}$ » або величині при досягненні деформаціями стиснутої грані своїх граничних деформацій ε_{cul} і буде величиною несучої здатності сталезалізобетонного перерізу при даних значеннях параметрів бетону, гнучкості та ексцентриситету прикладення навантаження.

При необхідності величина моменту, який при цьому сприймається перерізом, в загально прийнятій системі координат може бути отримана за формулою (3).

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 %.

Наведений метод – це найпростіший метод розв'язання системи нелінійних рівнянь підбором – метод послідовних наближень, але можна використати й інші методи, наприклад, метод половинного ділення.

ВИСНОВКИ

1. Запропонований розрахунковий апарат для визначення несучої здатності позацентрово стиснутих сталезалізобетонних елементів базується на єдиному з ДБН В.2.6-98 методологічному підході, що значно спрощує проектування сталезалізобетонних конструкцій.

2. Аналітичний апарат для визначення параметрів напружено-деформованого стану стиснутих сталезалізобетонних елементів нічим не відрізняється від згинальних.

3. Системи двох нелінійних алгебраїчних рівнянь (1) і (2) з двома невідомими розв'язуються підбором з контролем критеріїв вичерпання несучої здатності на кожному кроці розрахунку. При цьому можливі кілька варіантів пошуку рішення.

4. Наведений алгоритм та формули для різної форми перерізів реалізовані в прикладних програмах для персонального комп'ютера. Останнє дозволяє не тільки виконувати розрахунки реальних конструкцій, а й досліджувати поведінку сталезалізобетонних елементів при різних впливах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-160:2010 – [Чинний від 2011-01-09]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
2. Єврокод-4: Проектування комбінованих сталезалізобетонних конструкцій| – Частина 1-1: Загальні норми і правила для будівель / Український переклад англomовної версії. - К.: НДІБК, 2007. – 118 с.
3. Аметов Ю.Г. До розробки ДСТУ з розрахунку і конструювання згинальних та стиснутих сталезалізобетонних елементів / Ю.Г. Аметов, А.Н. Бамбура, Ю.С. Слюсаренко, Л.І. Стороженко // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 33. - С. 7-12.
4. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-01-07]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011.– 71 с.
5. Бамбура А.Н. К оценке несущей способности изгибаемых сталежелезобетонных элементов на основе деформационного метода и реальных диаграмм деформирования материалов / А.Н. Бамбура, Ю.Г. Аметов // Сталезалізобетонні конструкції: зб. наук. праць. – Кривий Ріг: КТУ, 2004. – Вип. 6. – С. 71-76.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2013 р.