

ДО РОЗРОБКИ ДСТУ З РОЗРАХУНКУ І КОНСТРУЮВАННЯ ЗГИНАЛЬНИХ ТА СТИСНУТИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Розглянуто основні положення методики розрахунку згинальних та стиснутих сталезалізобетонних конструкцій за першою групою граничних станів.

***Ключові слова:** ДСТУ, згинальні та стиснуті сталезалізобетонні конструкції, деформаційний метод.*

Вступ. Багаторічна робота над розробкою національного нормативного документу, який регламентує основні положення з розрахунку і конструювання сталезалізобетонних конструкцій успішно завершена.

На даний час вже набрав чинності ДБН В.2.6-160:2010 «Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення» [1]. 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.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Слід зазначити, що 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].

Постановка завдання. Незважаючи на вихід нормативного документа [1], залишилося невирішеним питання, як же все-таки виконувати розрахунок сталезалізобетонних елементів. Тому вже на стадії роботи над ДБН була передбачена необхідність розробки нормативного документу, в якому було б викладено порядок і методика розрахунку і конструювання згинальних та позациентрово стиснутих сталезалізобетонних елементів. Така робота вже виконується в НДІБК. Крім того, передбачена розробка документу з питань розрахунку і конструювання комбінованих плит з профільованими настилами, а також зсувних з'єднань.

Основний матеріал і результати. В ДСТУ, що розробляється, передбачається наступна структура документу:

- «ВСТУП», де буде наведена загальна характеристика структури ДСТУ і його взаємозв'язок з іншими нормативними документами;
- РОЗДІЛ 1 - «Сфера застосування», розділ в якому буде окреслена технічна галузь, на яку поширюються вимоги об'єкта стандартизації;
- РОЗДІЛ 2 - «Нормативні посилання», розділ в якому будуть наведені посилання на нормативно-правові акти і нормативні документи;
- РОЗДІЛ 3 - «Матеріали для сталезалізобетонних конструкцій», в цьому розділі будуть наведені міцнісні та деформативні характеристики бетону, арматури і конструкційної сталі;
- РОЗДІЛ 4 - «Розрахунок елементів сталезалізобетонних конструкцій за граничним станом першої групи», в цьому розділі будуть наведені методи розрахунку згинальних та

позацентрово стиснутих сталезалізобетонних елементів за несучою здатністю та стійкістю;

• РОЗДІЛ 5 - «Розрахунок елементів сталезалізобетонних конструкцій за граничним станом другої групи», в цьому розділі будуть наведені методи розрахунку згинальних та позацентрово стиснутих сталезалізобетонних елементів на трищиностійкість і деформативність;

• РОЗДІЛ 6 - «Основні правила конструювання згинальних та стиснутих сталезалізобетонних конструкцій».

У даній роботі ми зупинимося на питаннях розрахунку згинальних та позацентрово стиснутих сталезалізобетонних елементах за граничним станом першої групи.

Головні передумови розрахунку сталезалізобетонних елементів прийняті по аналогії з залізобетонними конструкціями згідно з [3].

За критерій вичерпання несучої здатності поперечного перерізу приймається:

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

– руйнування стиснутого бетону при досягненні крайніми стиснутими деформаціями граничних значень (ε_{cu1} , ε_{cu3} , див табл. 3.1 ДБН В.2.6-98 «Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» [3]) або розрив усіх розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій (ε_{su} , див. 3.2.6 ДБН В.2.6-98);

– досягнення крайніми стиснутими/розтягнутими деформаціями сталеві частини поперечного перерізу граничних значень (ε_{au} , див 6.3.3 [3]).

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

Крім викладених передумов в розрахункових залежностях використаний прийом [4], що дозволяє з достатньою точністю проводити розрахунки. Сутність даного прийому полягає в наступному: сталева частина розрахункового перерізу розбивається на «смужки», в межах висоти яких напруження вважаються постійними (рис.1), а розподіл деформацій по висоті сталевого елемента за лінійним законом. Такий прийом дозволяє представити сталезалізобетону балку і колону як залізобетонні елементи з багаторядним армуванням.

Нелінійна залежність між σ_c і ε_c у бетоні згідно з ДБН В.2.6-98 описується рівняннями:

$$\frac{\sigma_c}{f_{(ck),(cd)}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}, \quad (1)$$

де $\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1}$; ε_{c1} – деформації при максимальних напруженнях, згідно з таблицею 3.1, при розрахунку за першою групою граничних станів приймається $\varepsilon_{c1,cd}$, за другою групою граничних станів $\varepsilon_{c1,ck}$; $k = 1,05E_{ck} \times \varepsilon_{c1,ck} / f_{ck, prism}$ ($f_{ck, prism}$ – згідно з таблицею 3.1 ДБН В.2.6-98) при розрахунку за другою групою граничних станів і $k = 1,05E_{cd} \times \varepsilon_{c1,cd} / f_{cd}$ (f_{cd} – згідно з таблицею 3.1 ДБН В.2.6-98) при розрахунку за першою групою граничних станів; та

$$\sigma_c = f_{(ck),(cd)} \sum_{k=1}^5 a_k \eta^k, \quad (2)$$

де a_k - коефіцієнти полінома, які визначаються з використанням параметрів, наведених в таблиці 3.1 ДБН В.2.6-98.

Вирази (1) і (2) справедливі при $0 < |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cu1}|$ де ε_{cu1} – номінальні граничні деформації бетону.

Для розрахунку поперечних перерізів сталезалізобетонних конструкцій може використовуватись спрощені діаграми залежності «напруження-деформації» арматурної і конструкційної сталей (рисунок 2).

Гранична деформація конструкційної сталі ε_{au} , яка відповідає граничному опору на розтяг f_{ud} складає $\varepsilon_{aud} \geq 15\varepsilon_y$, де ε_y – деформації на межі текучості ($\varepsilon_y = f_{ud}/E_a$).

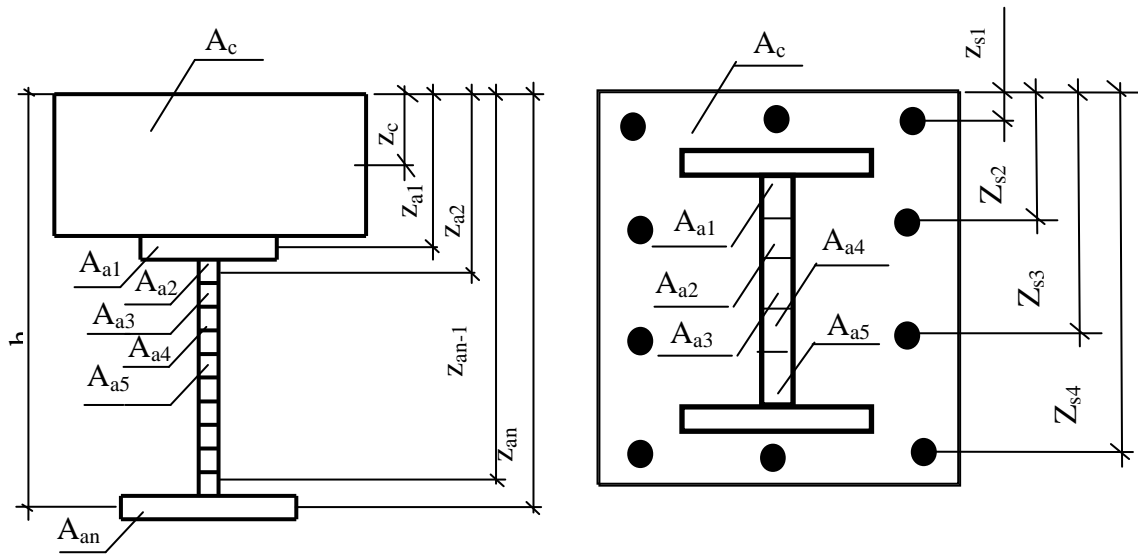


Рисунок 1 – Розрахунковий переріз сталезалізобетонної балки, яка зазнає дію згину (а) і позациентрово стиснутої колони (б)

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:

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

$$\sigma_{s(a)} = \varepsilon_{s(a)} \times E_{s(a)}; \quad (3)$$

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

$$\sigma_{s(a)} = f_{syd(aud)} \quad (4)$$

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

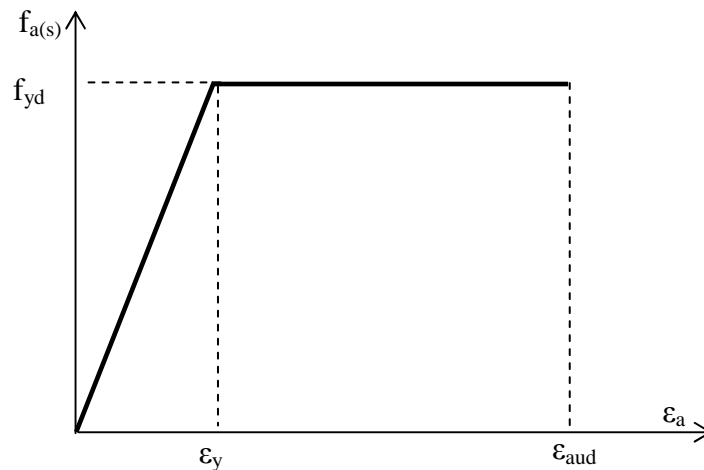


Рисунок 2 – «Дволінійна» залежність «напруження-деформації» для конструкційної сталі

Відповідно до прийнятих передумов при використанні формули (2) напружено-деформований стан розрахункового перерізу при згині має вигляд, наведений на рисунку 3 і описується системою рівнянь:

$$F(\mathbf{x}, \varepsilon_1) - N = 0; \quad (5)$$

$$\Phi(\mathbf{N}, \varepsilon_1) - M = 0 \quad (6)$$

В загальному вигляді функції $F(\mathbf{N}, \varepsilon_1)$ і $\Phi(\mathbf{N}, \varepsilon_1)$ записуються наступним чином:

$$F(\mathbf{N}, \varepsilon_1) = \int_F \sigma_b(x) dF + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} + \sum_{m=1}^m \sigma_{am} A_{am}; \quad (7)$$

$$\Phi(\mathbf{N}, \varepsilon_1) = \int_F \sigma_b(x) x dF + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} z_{si} + \sum_{m=1}^m \sigma_{am} A_{am} z_{am}. \quad (8)$$

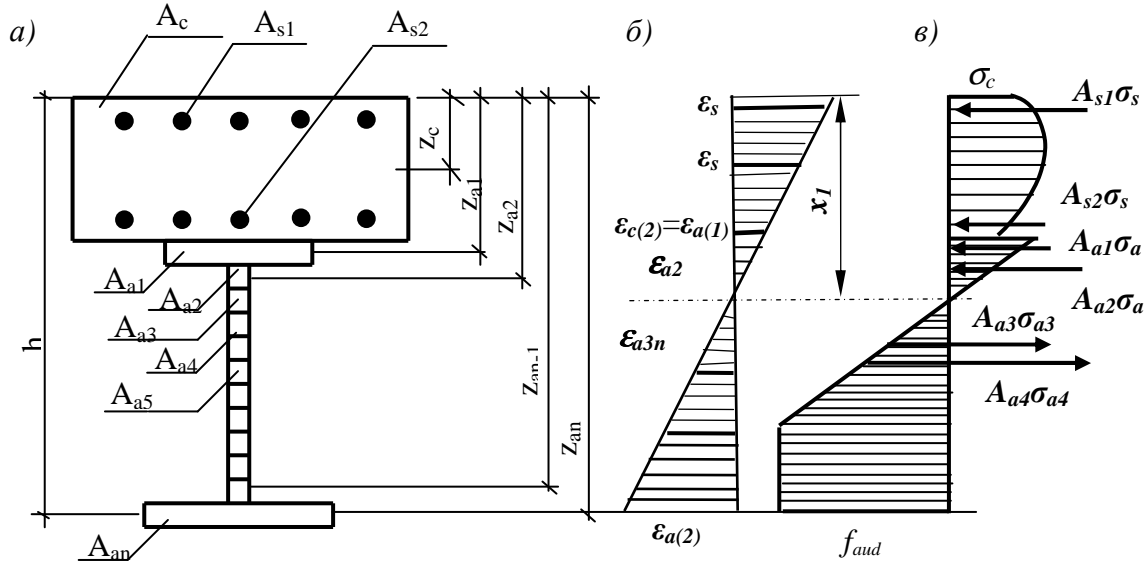


Рисунок 3 – Напружено-деформований стан сталезалізобетонної балки, яка зазнає дію згину: а – розрахунковий переріз; б – еюра деформацій; в – еюра напружень

Розрахункові залежності для згинальних елементів при застосованні нелінійної залежності «напруження – деформації» для бетону приймають вигляд (9), (10).

Для другої форми рівноваги, показаної на рисунку 3, після інтегрування і підстановки границь інтегрування отримаємо систему нелінійних алгебраїчних рівнянь з невідомими - $\varepsilon_{c(1)}$ і \mathbf{N} (або $\varepsilon_{a(2)}$):

$$\frac{\sigma_c b}{\mathbf{N}} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{bR}} \right)^{k+1} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} + \sum_{m=1}^m \sigma_{am} A_{am} - N = 0 \quad (9)$$

$$\frac{R_b b}{\mathbf{N}^2} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{bR}} \right)^{k+2} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (x_1 - z_{si}) + \sum_{m=1}^m \sigma_{am} A_{am} (x_1 - z_{am}) - M = 0 \quad (10)$$

У формулах (5) – (10):

$$\mathbf{N} = \frac{1}{\rho} = \frac{(\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{a(2)})}{h} \quad - \text{кривина вигнутої осі в перерізі; } \varepsilon_{c(1)} \quad - \text{деформації}$$

бетону стиснутої фібри; $\varepsilon_{a(2)}$ – деформації розтягнутої фібри сталюого профілю;

$$\gamma = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c1}}; \quad x_1 = \varepsilon_{c(1)} / \mathbf{N} \quad - \text{висота стиснутої зони; } \overline{\mathbf{N}} = \mathbf{N} / \varepsilon_{c1} \quad - \text{відносна}$$

кривина; z_{si} – відстань і-го стрижня або прошарку арматури від найбільш стиснутої грані перерізу; z_{am} – відстань m-ої смужки сталюого профілю від найбільш стиснутої грані перерізу; N і M – значення зовнішньої нормальної сили і згинального моменту відповідно.

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

Системи двох нелінійних алгебраїчних рівнянь (9) і (10) з двома невідомими розв'язуються підбором з контролем критеріїв вичерпання несучої здатності на кожному кроці розрахунку. При цьому можливі кілька варіантів пошуку рішення. Для оцінки напружено-деформованого стану розрахункового перерізу використовується деформаційний метод.

За результатами рішення систем рівнянь (9) і (10) 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 %.

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

Виконане в роботі [4] співставлення експериментальних і теоретичних, підрахованих запропонованим способом, даних, показало їх цілком задовільну збіжність.

Висновки:

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

2. Співставлення експериментальних і теоретичних, підрахованих за запропонованою методикою, даних, показало їх цілком задовільну збіжність, що свідчить про перспективність розрахункового апарату.

3. В даній час розробляється нормативний документ рівня ДСТУ, де будуть детально викладені основні методи розрахунку плит покриттів і перекриттів із профільованим настилом і інших комбінованих елементів.

Література

1. ДБН В.2.6-160:2010 «Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення» / Мінрегіонбуд України. Київ – 2011 – 55 с.
2. Єврокод-4: Проектування комбінованих сталезалізобетонних конструкцій / – Частина 1-1: Загальні норми і правила для будівель / Український переклад англомовної версії. НДБК – Київ, 2007 – 118 с.
3. ДБН В.2.6-98 «Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» / Мінрегіонбуд України. Київ – 2011 – 71 с.
4. 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. Випуск 6. – Кривий Ріг: КТУ, 2004. – С. 71-76.

*Ю.Г. Аметов, к.т.н., с.н.с., А.Н. Бамбура, д.т.н., с.н.с., Ю.С. Слюсаренко, к.т.н., с.н.с.
ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев
Л.И. Стороженко, д.т.н., проф.*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

К РАЗРАБОТКЕ ДСТУ ПО РАСЧЕТУ И КОНСТРУИРОВАНИЮ ИЗГИБАЕМЫХ И СЖАТЫХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрены основные положения методики расчета изгибаемых и сжатых сталежелезобетонных конструкций по первой группе предельных состояний.

Ключевые слова: *ДСТУ, изгибаемые и сжатые сталежелезобетонные конструкции, деформационный метод.*

*U.G. Ametov, Ph.D., Senior Researcher., A.M. Bambura, Dr. Tech. Sc., Senior Researcher.,
U.S. Slusarenko, Ph.D., Senior Researcher.
State Enterprise "State Research Institute of Building Structures", Kyiv
L.I. Storozhenko, Dr. Tech. Sc., Prof.
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

TO DEVELOP OF DSTU FOR CALCULATION AND DESIGN OF THE BENDING AND COMPRESSION COMPOSITE ELEMENTS

The basic principles and methods of calculation of flexible compressed composite structures for the first group of limit states.

Key words: *DSTU, tight bends and composite structures, deformation method.*

Надійшла до редакції 31.08. 2012

© Ю.Г. Аметов, А.М. Бамбура, Ю.С. Слюсаренко, Л.И. Стороженко