

УДК 624.131.23

**ПРО РОЗРАХУНОК КОМБІНОВАНИХ ВУЗЛІВ
СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО
НОВОГО НАЦІОНАЛЬНОГО СТАНДАРТУ**

к.т.н., с.н.с., Аметов Ю.Г.

*Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій», м. Київ, Україна*

Вступ. На даний час вже набрав чинності ДБН В.2.6-160:2010 «Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення» [1], який встановлює основні вимоги щодо проектування сталезалізобетонних конструкцій будівель та споруд, а також основні 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].

Постановка проблеми. Незважаючи на вихід нормативного документа [1], залишилося невирішеним питання щодо розрахунку сталезалізобетонних елементів. Тому, 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.

У раніше опублікованих роботах [3, 4] ми показали на основі яких передумов і яким чином виконується розрахунок згинальних та позациентровованих сталезалізобетонних конструкцій.

Одним з найважливіших питань проектування сталезалізобетонних конструкцій є розрахунок з'єднань елементів, особливо в рамках каркасів будівель і споруд. У чинному ДБН В.2.6-163 «Сталеві конструкції» [5] при проектуванні з'єднань основну увагу приділено розрахунку зварних швів і болтових з'єднань. При цьому, не враховується жорсткість і несуча здатність самих вузлів.

В рамках даної роботи розглянуто деякі питання розрахунку комбінованих вузлів сталезалізобетонних елементів будівель.

Вирішення проблеми. Сталезалізобетонний вузол це вузол сполучення двох сталезалізобетонних елементів, сталезалізобетонного елемента зі сталевим або залізобетонним елементом, армування якого враховується при визначенні несучої здатності і жорсткості вузла.

При розрахунку вузлом є група всіх основних компонентів, необхідних для представлення роботи вузла в процесі передачі відповідних внутрішніх зусиль і моментів між з'єднаними елементами. Вузол сполучення балки з колоною складається з ділянки стінки колони і одного (при односторонній конфігурації вузла) або двох (при двосторонній конфігурації вузла) з'єднань (рис.1).

Конфігурація вузла – це тип або компонування вузла або вузлів в межах області перетину двох або більше осей з'єднувальних елементів (рис.2).

Основний компонент вузла – це частина вузла, що впливає на одне або більше його конструктивні властивості.

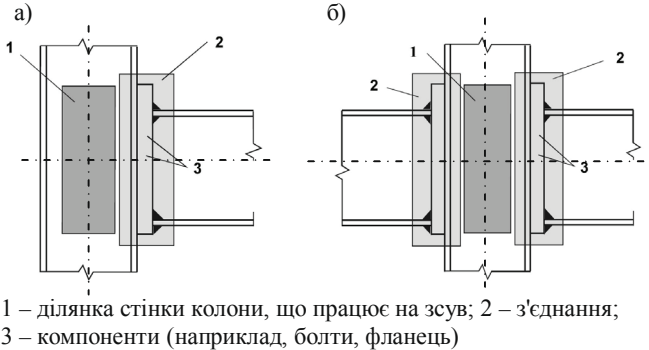
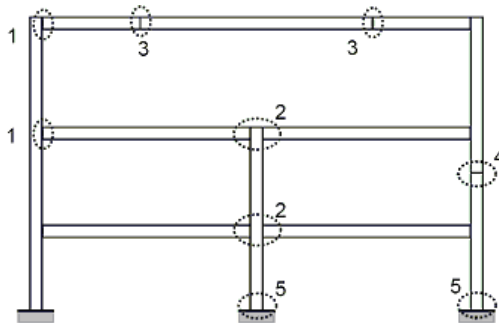


Рис.1. Складові вузла сполучення балки з колоною (залізобетонна частина балки умовно не показана): а – одностороння конфігурація вузла; б – двостороння конфігурація вузла



1 – одностороннє сполучення балки з колоною; 2 – двостороннє сполучення балки з колоною; 3 – стик балок; 4 – стик колон; 5 – база колони

Рис.2. Конфігурації вузлів

Вузли класифікуються за жорсткістю і за несучою здатністю.

Щоб встановити, чи повинно враховуватися вплив роботи з'єднання на виконання статичного розрахунку, розрізняють три типи спрощених моделей вузлів:

- простий (номінально-шарнірний), в якому можна допустити, що вузол не передає згинальний момент;
- жорсткий, в якому робота вузла не впливає на результати статичного розрахунку;
- напівжорсткий, в якому слід враховувати вплив роботи вузла на статичний розрахунок.

Номинально-шарнірний вузол повинен передавати внутрішні зусилля без появи значних моментів, які могли б несприятливо впливати на окремі елементи або на конструкцію в цілому. При цьому, номінально-шарнірний вузол не повинен стримувати поворот вузла при дії розрахункового навантаження.

Вузли, що класифікуються як жорсткі, повинні мати достатню жорсткість при повороті вузла для підтвердження розрахункової передумови, прийняті при статичному розрахунку.

Вузли, які не задовольняють критеріям для жорстких або номінально-шарнірних вузлів, слід класифікувати як напівжорсткі. Напівжорсткі вузли забезпечують передбачувану ступінь взаємодії між елементами, засновану на розрахунковій залежності між моментом і кутом повороту вузла. Напівжорсткі вузли повинні передавати внутрішні зусилля і моменти.

Межі класифікації вузлів по жорсткості наведені на рис. 3, де

- зона 1 – жорсткий вузол, якщо жорсткість на кручення $S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b$, де $k_b = I_b / L_b = 8$ для рам каркасів, в яких система зв'язків зменшує горизонтальні переміщення, принаймні, на 80%, $k_b = 25$ для решти рам каркасів, за умови що на кожному поверсі $k_b / k_c \geq 0,1$ ($k_c = I_c / L_c$)

- зона 2 – напівжорсткий вузол. Всі вузли зони 2, слід класифікувати як напівжорсткі. Вузли зон 1 або 3 в окремих випадках можуть також розглядатися як напівжорсткі;

- зона 3 – номінально-шарнірний вузол, якщо $S_{j,ini} \leq 0,5 EI_b / L_b$.

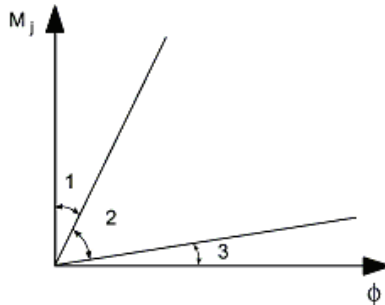


Рис.3. Класифікація вузлів по жорсткості

Крім класифікації вузлів по жорсткості вузли класифікують як рівномірні, номінально-шарнірні або частково рівномірні, порівнюючи їх розрахункову несучу здатність на згин $M_{j,Rd}$ з розрахунковими несучими здатностями на згин елементів, що з'єднуються. При класифікації вузлів розрахункову несучу здатність елемента слід приймати як для елемента, що примикає до вузла.

При моделюванні деформованого стану вузла слід враховувати деформації зсуву ділянки стінки колони в місці примикання балки, а також деформацію, обумовлену поворотом вузлового з'єднання.

Вузли слід розраховувати на сприйняття внутрішніх згинальних моментів $M_{b1,Ed}$ і $M_{b2,Ed}$, нормальних зусиль $N_{b1,Ed}$ і $N_{b2,Ed}$ і поперечних сил $V_{b1,Ed}$ і $V_{b2,Ed}$ від присьднуваних елементів (рис.4).

Сумарне зусилля зсуву $V_{wp,Ed}$ в ділянці стінки колони слід визначати за формулою

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}}{z} - \frac{V_{c1} - V_{c2}}{2}, \quad (1)$$

де z - плече внутрішньої пари сил.

Для того, щоб модель вузла найбільш точно відображала його дійсну роботу, ділянка стінки колони, що працює на з'сув, і кожне з кріплень вузлів слід моделювати окремо, враховуючи внутрішні сили і моменти, що діють на периферії ділянки стінки колони.

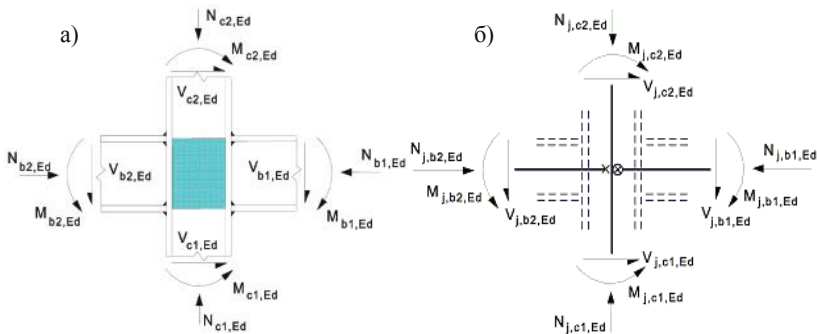


Рис. 4. Внутрішні сили і моменти у вузлі:
 а – значення зусиль на периферії ділянки стінки колони;
 б – значення зусиль в точці перетину осей елементів

При визначенні розрахункової несучої здатності на згин, а також крутильної жорсткості для кожного вузла, можливий вплив ділянки стінки колони, що працює на зріз, враховується за допомогою коефіцієнтів трансформації β_1 і β_2 ,

де β_1 – значення коефіцієнта трансформації β для правого боку вузла;

β_2 – значення коефіцієнта трансформації β для лівої сторони вузла.

Наближені значення β_1 і β_2 , засновані на значеннях згинальних моментів у балці $M_{b1,Ed}$ і $M_{b2,Ed}$, і діючих на периферії ділянки стінки колони (рис.4, а), можна визначити за таблицею 1.

Більш точні значення β_1 і β_2 , засновані на значеннях згинальних моментів у балці в точці перетину осей елементів (рис.4, б) можуть бути визначені за спрощеною моделі:

$$\beta_1 = \left| 1 - M_{j,b2,Ed} / M_{j,b1,Ed} \right| \leq 2, \quad (2,a)$$

$$\beta_2 = \left| 1 - M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} \right| \leq 2, \quad (2,6)$$

де $M_{j,b1,Ed}$ – момент в точці перетину осей елементів з боку правої балки;

$M_{j,b2,Ed}$ – момент в точці перетину осей елементів з боку лівої балки.

При визначенні розрахункової несучої здатності на згин непідсиленого двостороннього сполучення балки з колоною з нерівними по висоті балками, слід враховувати фактичний розподіл дотичних напружень на ділянці стінки колони.

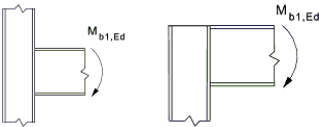
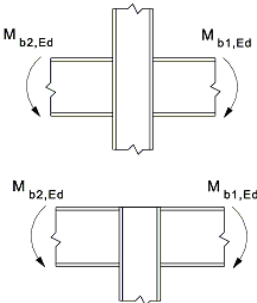
Залежно від класифікації вузла вибирається метод розрахунку: пружний, пружно-пластичний і жорстко-пластичний розрахунки.

Залежність між кутом повороту і моментом у вузлі, використовувана при статичному розрахунку, може бути спрощена і представлена у вигляді відповідної кривої, включаючи лінійну апроксимацію (наприклад, білінійну або трилінійну), за умови, що ця апроксимуюча крива повністю розташована нижче розрахункової кривої залежності між кутом повороту і згинальним моментом.

Вузли повинні мати достатню міцність для передачі діючих у вузлі сил і моментів, отриманих при статичному розрахунку.

Таблиця 1

Наближені значення коефіцієнта трансформації β

Конфігурація вузла	Вплив	Значення β
	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$

Розрахункове значення згинального моменту $M_{j,Rd}$, сприйманого сполученням балки з колоною або стиком балок можна визначити за умови, що осьова сила N_{Ed} у приєднаному елементі не перевищує 5% розрахункової несучої здатності $N_{pl,Rd}$ його поперечного перерізу.

У всіх вузлах розміри зварних швів повинні бути такими, щоб розрахункове значення згинального моменту $M_{j,Rd}$, сприйманого вузлом, завжди було обмежено розрахунковою несучою здатністю його основних компонентів, а не зварних швів.

У сполученні балки з колоною або в стикі балок, в яких потрібне утворення пластичного шарніра і поворот вузла при будь-якій відповідній розрахунковій ситуації, зварні шви слід проектувати таким чином, щоб сприймати момент, рівний, принаймні, найменшою з наступних величин:

- розрахунковим значенням згинального моменту, сприйманого приєднаним елементом $M_{pl,Rd}$;
- розрахунковим значенням згинального моменту $M_{j,Rd}$, помноженому на α , де $\alpha = 1,4$ – для каркасів, в яких система в'язів задовольняє умови (8.1) ДБН В.2.6-160 [5], щодо поперечного зміщення; $\alpha = 1,7$ – у всіх інших випадках.

У болтовому з'єднанні з більш ніж одним рядом болтів, що працюють на розтяг, в якості спрощення можна знехтувати роботою будь-якого ряду болтів за умови, що роботою всіх інших рядів болтів, розташованих ближче до центру стиску, також нехтують.

При врахуванні залізобетонної частини комбінованих елементів приведена ширина бетонної полиці повинна визначатись згідно з ДБН В.2.6-160. Необхідно припускати, що у фактичній площі поздовжньої розтягнутої арматури напруження досягають її розрахункового опору текучості f_{sd} .

Якщо має місце неврівноважене навантаження, для перевірки передачі зусиль від бетонної плити на колону можна застосовувати модель «стиснуто-розтягнутих умовних елементів» (рис. 5).

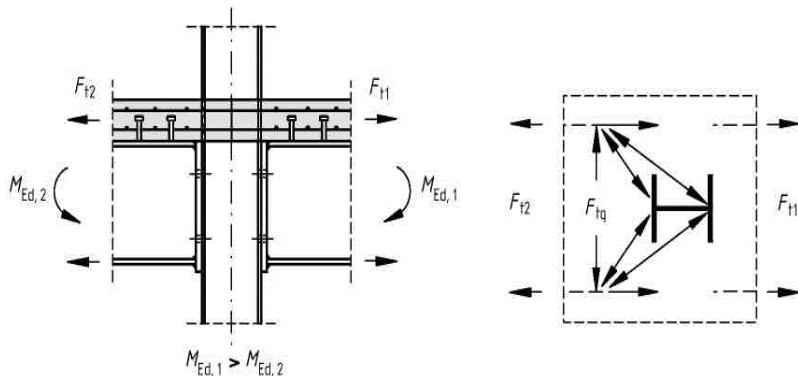


Рис. 5. Модель «стиснуто-розтягнутих умовних елементів»

Для односторонньої конфігурації комбінованого вузла, робоча поздовжня розтягнута арматура плити повинна належним чином заанкерюватись вдовж прольоту балки, для можливості досягнення розрахункового опору при розтязі.

Висновки.

1. Використаний в розробляемому ДСТУ підхід для розрахунку та проектування комбінованих вузлів сталезалізобетонних елементів в рамках каркасів будівель дозволяє максимально враховувати фактичну роботу компонентів вузлів.

2. Для визначення несучої здатності і жорсткості компонентів вузлів використовується єдиний методологічний похід, а саме, розрахунок за деформаційному методу.

ВИКОРИСТАНА 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. НДІБК – Київ, 2007 – 118 с.
3. Аметов Ю.Г. До розробки ДСТУ з розрахунку і конструювання згинальних та стиснутих сталезалізобетонних елементів / Ю.Г. Аметов, А.М. Бамбура, Ю.С. Слюсаренко, Л.І. Стороженко // Зб. науков. пр. «Сталезалізобетонні конструкції: Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація», вип. 10. – Полтава: НТУ, 2012. – С. 42-49.
4. Аметов Ю.Г. Розрахунок позacentрово стиснутих сталезалізобетонних конструкцій за деформаційним методом / Ю.Г. Аметов, А.М. Бамбура // Сб. науков. пр. «Будівельні конструкції», вип. 78. – Київ: ДП НДІБК, 2013. – С. 150-157.
5. ДБН В.2.6-163:2010 «Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу» / Мінрегіонбуд України. Київ – 2011 – 202 с.