

ДЕЯКІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКУ КОМБІНОВАНИХ ВУЗЛІВ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто основні положення методики розрахунку комбінованих вузлів сталезалізобетонних конструкцій. Для визначення несучої здатності й жорсткості компонентів вузлів використано єдиний методологічний підхід, який дозволяє максимально враховувати їх фактичну роботу.

Ключові слова: ДСТУ, комбіновані вузли, сталезалізобетонні конструкції.

Вступ. Діючий нормативний документ [1] встановлює основні вимоги, яким повинні відповідати сталезалізобетонні конструкції будівель та споруд, а також основні правила щодо їх проектування, вимоги до матеріалів, розрахунку і конструювання.

У цьому документі враховані основні положення (принципи) [2].

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Незважаючи на вихід нормативного документа [1], залишилося невирішеним питання щодо розрахунку конкретних сталезалізобетонних елементів.

Тому в нормах [1] було передбачено розроблення документів другого рівня (ДСТУ) з питань розрахунку і конструювання згинальних та стиснутих сталезалізобетонних елементів, комбінованих плит з профільованими настилами, а також зсувних з'єднань.

У роботах [3, 4] показано, на основі яких передумов, яким чином і в якій послідовності виконується розрахунок згинальних та позацентрово стиснутих елементів сталезалізобетонних конструкцій.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. При проектуванні сталезалізобетонних конструкцій важливим питанням є розрахунок з'єднань елементів, особливо в рамках каркасів будівель і споруд. У діючому нормативному документі [5] при проектуванні з'єднань основну увагу приділено розрахунку зварних швів та болтових з'єднань. При цьому не враховуються жорсткість і несучу здатність самих вузлів.

Мета дослідження. У роботі розглянуто деякі питання розрахунку комбінованих вузлів сталезалізобетонних елементів будівель. При цьому враховані основні положення норм [6].

Основний матеріал і результати. Згідно з даними нормативного документа [6] сталезалізобетонним вузлом вважається сполучення двох сталезалізобетонних елементів, сталезалізобетонного елемента зі сталевим або залізобетонним елементом, армування якого враховується при визначенні несучої здатності й жорсткості вузла.

При розрахунку вузлом вважається 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 й одного (при односторонній конфігурації вузла) або двох (при двосторонній конфігурації вузла) з'єднань (рис. 1).

Конфігурація вузла – це тип чи компоновання вузла або вузлів у межах області перетину двох чи більше осей з'єднувальних елементів (рис. 2). Основний компонент вузла – це частина вузла, що впливає на одне або більше його конструктивних властивостей.

Вузли класифікуються за жорсткістю і за несучою здатністю.

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

– простий (номінально-шарнірний), у якому можна допустити, що вузол не передає згинальний момент;

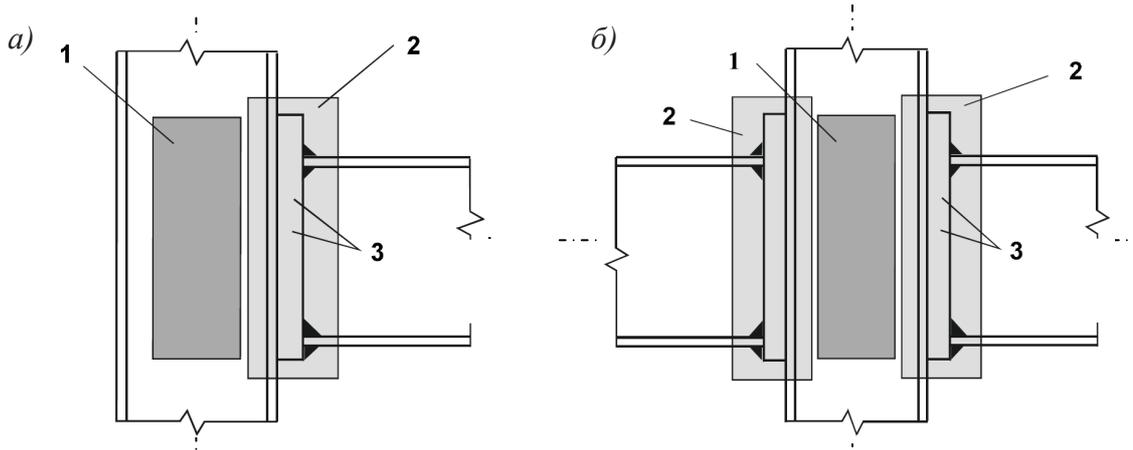
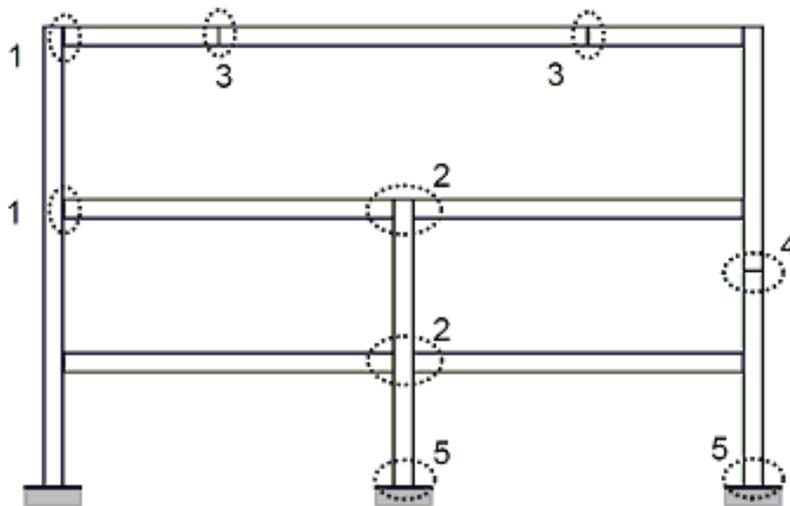


Рисунок 1 – Складові вузла сполучення балки з колоною (залізобетонна частина балки умовно не показана): а – одностороння конфігурація вузла; б – двостороння конфігурація вузла, 1 – ділянка стінки колони, що працює на зсув; 2 – з'єднання; 3 – компоненти (наприклад, болти, фланець)

– жорсткий, у котрому робота вузла не впливає на результати статичного розрахунку;
 – напівжорсткий, у якому слід урахувувати вплив роботи вузла на статичний розрахунок.



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

Номінально-шарнірний вузол має 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 критерії для жорстких або номінально-шарнірних вузлів, слід класифікувати як напівжорсткі. Напівжорсткі вузли забезпечують передбачуваний ступінь взаємодії між елементами, заснований на розрахунковій залежності між моментом і кутом повороту вузла. Крім того такі вузли повинні передавати внутрішні зусилля і моменти.

Тип моделі вузла слід визначати за таблицею 1 в залежно від класифікації вузла й обраного методу статичного розрахунку.

Межі класифікації вузлів по жорсткості наведені на рисунку 3, на якому:

- 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, у 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 – напівжерсткий вузол. Усі вузли зони 2 слід класифікувати як напівжерсткі. Вузли зон 1 або 3 в окремих випадках можуть також розглядатися як напівжерсткі;

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

Примітка. Індекс b визначає параметри балок, c – параметри колон, j – параметри вузла.

Таблиця 1 – Типи моделі вузла

Метод розрахунку	Класифікація вузла		
	Номінально-шарнірний	Жорсткий	Напівжерсткий
Пружний (1-й тип НДС у перерізі сталеві частини)	Номінально-шарнірний	Жорсткий	Напівжерсткий
Жерстко-пластичний (3-й тип НДС у перерізі сталеві частини)	Номінально-шарнірний	Рівномісний	Частково рівномісний
Пружно-пластичний (2-й тип НДС у перерізі сталеві частини)	Номінально-шарнірний	Жорсткий і рівномісний	Напівжерсткий і частково рівномісний. Напівжерсткий та рівномісний Жорсткий і частково рівномісний
Тип моделі вузла	Простий	Жорсткий	Напівжерсткий

Примітка. Типи НДС у перерізі сталеві частини визначаються згідно з нормами [1].

Межі класифікації вузлів по жорсткості наведені на рисунку 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 – напівжерсткий вузол. Всі вузли зони 2, слід класифікувати як напівжерсткі. Вузли зон 1 або 3 в окремих випадках можуть також розглядатися як напівжерсткі;

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

Примітка. Індекс b визначає параметри балок, c – параметри колон, j – параметри вузла.

Крім класифікації вузлів за жорсткістю, вузли класифікують як рівномісні, номінально-шарнірні або частково рівномісні, 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 урахувати деформації зсуву ділянки стінки колони в місці примикання балки, а також деформацію, обумовлену поворотом вузлового з'єднання.

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

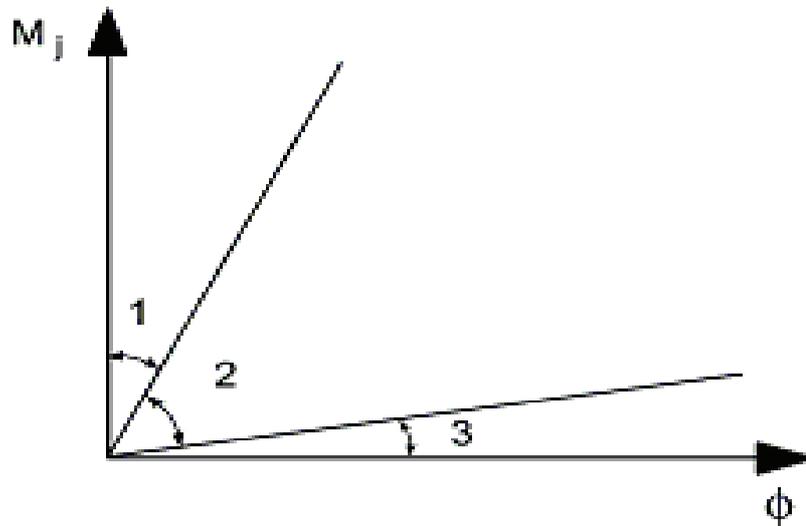


Рисунок 3 – Класифікація вузлів по жорсткості

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.

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 та β_2

Значення β_1 та β_2 можуть бути прийняті як наближені засновані на значеннях згинальних моментів у балці $M_{b1,Ed}$ і $M_{b2,Ed}$ та діючих на периферії ділянки стінки колони (рис. 4, а).

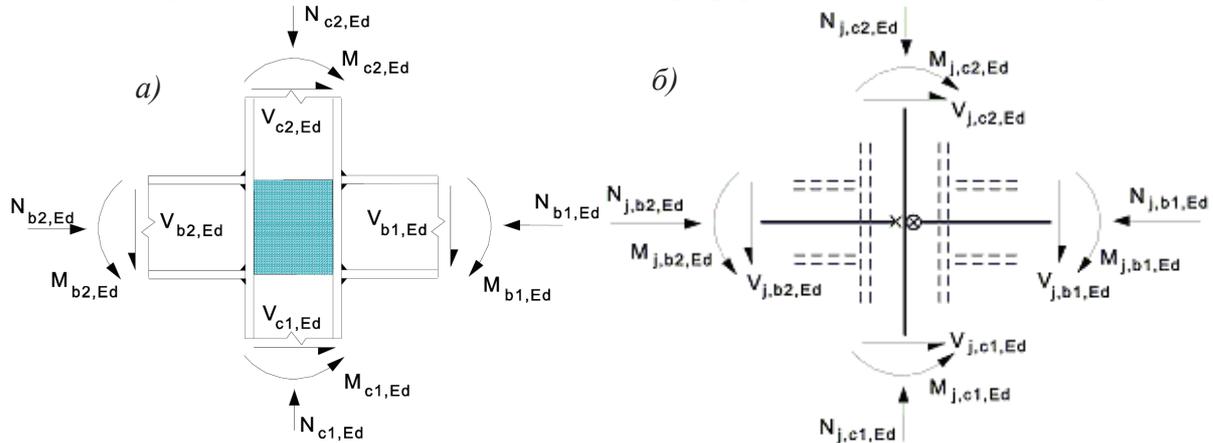


Рисунок 4 – Внутрішні сили і моменти у вузлі:
а – значення зусиль на периферії ділянки стінки колони;
б – значення зусиль в точці перетину осей елементів

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

$$\beta_1 = 1 - \frac{M_{j,b2,Ed}}{M_{j,b1,Ed}} \Big|_{\leq 2}, \quad (2,a)$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{M_{j,b1,Ed}}{M_{j,b2,Ed}} \Big|_{\leq 2}, \quad (2,б)$$

де β_1 – значення коефіцієнта трансформації β для правої сторони вузла;

β_2 – значення коефіцієнта трансформації β для лівої сторони вузла.

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

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

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

Залежність між кутом повороту та 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 та згинальним моментом.

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

Розрахункове значення згинального моменту $M_{j,Rd}$, сприйманого сполученням балки з колоною чи стиком балок, можна обчислити 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 обмежене розрахунковою несучою здатністю його основних компонентів, а не зварних швів.

У сполученні балки з колоною або в стику балок, у яких потрібне утворення пластичного шарніра і поворот вузла при будь-якій відповідній розрахунковій ситуації, зварні шви слід проектувати таким чином, щоб сприймати момент, що дорівнює принаймні найменшій з таких 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, у яких система в'язів задовольняє умову (8.1) норм [1], щодо поперечного зміщення; $\alpha = 1,7$ – у всіх інших випадках.

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

При врахуванні залізобетонної частини комбінованих елементів приведена ширина бетонної полиці повинна визначатися згідно з нормативним документом [1]. Необхідно припускати, що у фактичній площі поздовжньої розтягнутої арматури напруження досягають її розрахункового опору текучості f_{sd} .

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

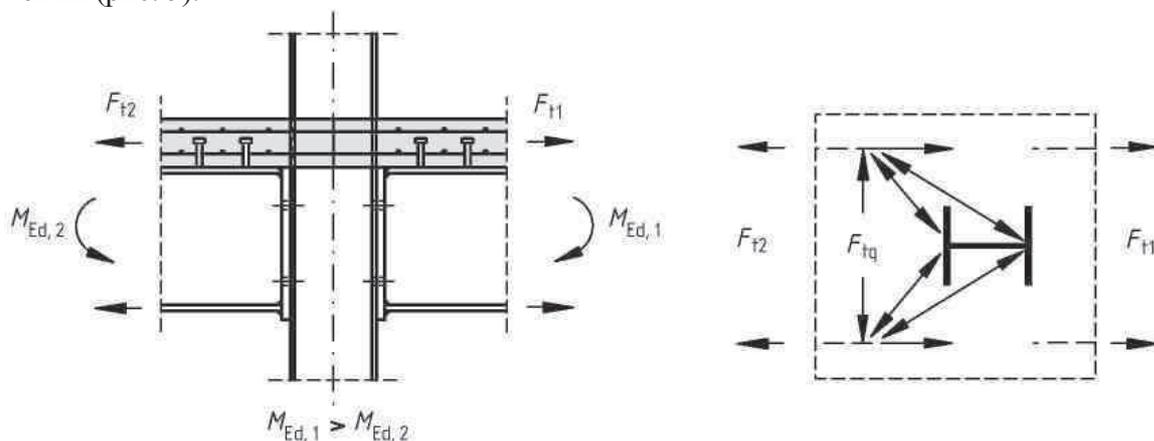


Рисунок 5 – Модель «стиснуто-розтягнутих умовних елементів»

Висновки.

1. На сьогодні розроблено й передано на затвердження ДСТУ з розрахунку та конструювання згинальних і стиснутих елементів сталезалізобетонних конструкцій.

2. Використаний у розробленому ДСТУ підхід для розрахунку та проектування комбінованих вузлів сталезалізобетонних елементів у рамках каркасів будівель дозволяє максимально враховувати фактичну роботу компонентів вузлів.

3. Для визначення несучої здатності й жорсткості компонентів вузлів використовується єдиний методологічний похід, розрахунок за деформаційним методом.

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 позацентрово 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.
6. EN 1993-1-8:2005. Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8: Розрахунок з'єднань.

Ю.Г. Аметов, к.т.н., с.н.с.

Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННЫХ УЗЛОВ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрены основные положения методики расчета комбинированных узлов сталежелезобетонных конструкций. Для определения несущей способности и жесткости компонентов узлов использован единый методологический подход, который позволяет максимально учитывать их фактическую работу.

Ключевые слова: *ГСТУ, комбинированные узлы, сталежелезобетонные конструкции.*

U.G. Ametov, Ph.D., Senior Researcher

State Enterprise «State Research Institute of Building Constructions», Kyiv

SOME ASPECTS OF THE CALCULATION OF COMBINED JOINTS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES

The main provisions of the methodology for calculating the combined nodes composite structures have been considered. A consistent methodological approach is used to define the carrying capacity and stiffness of joint components. It provides to consider their actual operating.

Key words: *DSTU, combined joints steel-concrete composite structures.*

Надійшла до редакції 21.09.2014

© Ю.Г. Аметов