

УДК 624.042.7

## МОДЕЛЮВАННЯ ВУЗЛІВ У РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМАХ РАМНИХ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Калинок Б. І., магістр; Давидов І. І.<sup>1</sup>, к. т. н., доц.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

<sup>1</sup> [davydov.ihor@pdaba.edu.ua](mailto:davydov.ihor@pdaba.edu.ua)

**Постановка проблеми.** Формування розрахункової схеми сталевих конструкцій, більшою мірою, залежить від досвіду та уявлення фахівця про подальшу роботу конструкції під навантаженням, принципів конструкційної механіки, поєднання вимог міцності, стійкості, деформативності, естетичності, безпечності, використання програмних засобів та інш. Одним з основних аспектів є моделювання вузлів сталевих конструкцій. Навіть при застосуванні типових конструкцій і дотриманні всіх правил і норм фахівці стикаються з невизначеністю. Використання програм для розрахунку сталевих конструкцій та вузлів може бути пасткою без розуміння, як працюють вузли [6].

**Мета дослідження.** Основним завданням є виявлення та усунення невизначеності у розрахункових схемах сталевих конструкцій, а також у формуванні принципів для уточнення раціональних розрахункових моделей конструкцій.

**Основні результати.** Розглянемо жорсткі вузли, наприклад, з'єднання ригеля з колонною, яке впливає на напружено-деформоване становище конструкції за методикою [6]. Залежно від того, наскільки «жорсткими» будуть колони і ригелі рамної конструкції, вузли матимуть певну кінцеву жорсткість. Тоді існує діапазон варіантів від «жорсткість наближатися до нуля» до «жорсткість наближатися до абсолютної».

Ми знаємо, що розподіл зусиль у конструктивних системах залежить від співвідношення жорсткостей елементів у цій системі. Але дуже складним завданням є розуміння того, яке розподілення зусиль в елементах вузла зі звареними з'єднаннями, з опорними стільцями, фасонками та ребрами, з болтовими з'єднаннями і т. д. Особливо це стосується вузлів, які в більшості випадків є багаторазово статично невизначеними системами.

На рисунку 1 наведені приклади жорстких вузлів рами.

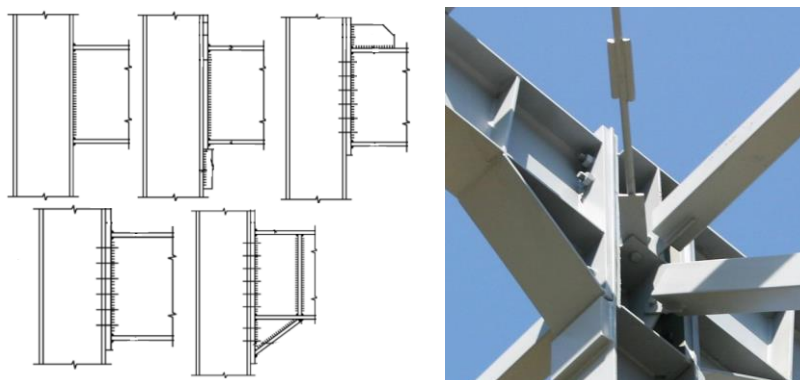


Рис. 1. Жорсткі вузли рами

Кожному варіанту розрахункової моделі буде відповідати своє розподілення зусиль у конструкціях. Необхідно якось оцінити, яка жорсткість вузла. Чи можна вважати вузол у розрахунковій моделі абсолютно жорстким, чистим шарніром або напівжорстким? Для цього потрібно прийняти основні критерії, за якими можна

оцінити жорсткість вузлів. Можна використати чисельне моделювання, але результат знову буде залежати від нашого попереднього уявлення про вузол. Ця інформація відсутня в національних нормах [1]. Часто в таких випадках звертаються до рішень типових серій. Але, це не означає, що це рішення проблеми.

В Єврокоді 3 [2; 3] наведена формула, яка дозволяє попередньо визначити жорсткість вузла. Спочатку потрібно проаналізувати які конструктивні елементи роблять внесок у деформативність вузла та порахувати їх суму. Для наочності проаналізуємо коефіцієнт  $\xi$ , що визначає жорсткість вузла, стоїть у знаменнику. Чим він більше, тим менше жорсткість вузла. Наприклад, прийmemo за умовну одиницю коефіцієнт  $\xi = 1$  для варіанта приєднання ригеля до колони з одного боку (див. рис. 2). При приєднанні ригелів з двох боків без поперечних ребер коефіцієнт  $\xi = 0.55$ . Такий вузол більш жорсткий ніж при примиканні ригелів з одного боку. При врахуванні поперечних ребер в колоні та приєднання ригеля з одного боку коефіцієнт  $\xi = 0,49$ . Якщо поставити діагональне ребро при приєднанні ригеля з одного боку –  $\xi = 0,26$ . Такий вузол більш жорсткий. Такий підхід набагато простіше, ніж намагатися шляхом кінцевих елементів змодельовати фактичну жорсткість вузла.

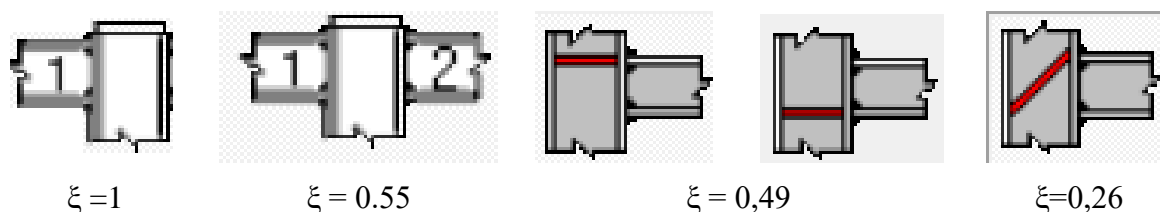


Рис. 2. Жорсткі вузли примикання ригеля до колони

Але дізнатися жорсткість вузла це лише частина завдання. Та як потрібні критерії впливу жорсткості вузлів на остаточний висновок – це жорсткий вузол, шарнірний вузол або напівжорсткий вузол. Такі критерії є в єврокоді [2; 3] та в американських нормах [4; 5].

Наступна проблема – правильно вжити зусиль для розрахунку вузлів конструкцій. Якщо ми розглядаємо складні вузли, в яких сходяться багато елементів (див. рис. 1), то не очевидно який розподіл зусиль в елементах, що сходяться у вузлі. Потрібно з'ясувати, на які зусилля розраховувати конкретний зварний шов, групу болтів, фасонки та ребра, фланці (див. рис. 3).



Рис. 3. Схеми можливо розподілу зусиль у вузлі

Такі вузли часто є статично невизначеними системами. З будівельної механіки відомо, що розподіл зусиль у таких системах залежить від співвідношення жорсткості елементів у цій системі. У національних нормах [1] у розділі проектування з'єднань можна знайти вказівки щодо того, як проектувати зварні та болтові з'єднання. Але там

відсутня інформація, як проектувати деталі з'єднання вузла. Немає інформації які граничні стани елементів вузла можуть наступити, як перевіряти стійкість окремих елементів стінки колони у різних вузлах, стінки балки вузла, фасонки вузла.

Частково в літературі розбираються такі питання. Але далеко не всі і дуже часто вони застосовні тільки до конкретного випадку.

У такому випадку потрібно самому закласти розподіл зусиль у вузлі та конструювати вузол відповідно до цього розподілу зусиль [6]. Тоді в реальній конструкції будуть саме такі з'єднання, які будуть відповідати закладеній схемі зусиль. Основна вимога до виконання умов рівноваги зусиль у всіх елементах вузла ( $\sum N_x = 0$ ,  $\sum N_y = 0$ ,  $\sum N_z = 0$ ,  $\sum M_x = 0$ ,  $\sum M_y = 0$ ,  $\sum M_z = 0$ ): колона, балка, фасонка, зв'язок. Такий підхід відповідає [4] – Unsym Form Force Method.

Додаткові вимоги – це забезпечити недопущення граничного стану всіх з'єднань та елементів вузла. Остання вимога – забезпечення пластичної роботи всіх елементів та з'єднань. Не повинно бути крихкого руйнування у вузлі, а якщо крихке руйнування можливе, то воно має бути набагато пізніше пластичного руйнування. Відповідно до національних норм [1] всі сталеві конструкції розраховуємо як пластичні елементи. З'єднання на звичайних болтах та зварні шви з'єднання елементів ми також вважаємо пластичними (зусилля розподіляються рівномірно по довжині, а концентратори по кінцях шва ми не враховуємо). Не дуже очевидним, з погляду пластичної роботи є з'єднання на міцних болтах. Таким чином, всі три умови (рівноваги зусиль у всіх елементах вузла, забезпечення недопущення граничного стану та пластичної роботи всіх елементів) можуть бути виконані та запропонований підхід нав'язування розподілу зусиль справедливий.

**Висновки.** Узагальнені рекомендації [6] по моделювання вузлів рамних сталевих конструкцій з метою забезпечення однотипності у процесі аналізу різних конструкцій та їх вузлів. Запропоновані принципи усунення невизначеності моделювання у розрахункових схемах рамних вузлів сталевих конструкцій – визначення жорсткості вузлів та розподілу зусиль в елементах вузла.

Для перевірки ефективності розробленої методики було проведено тестування на прикладі сталеві рами у лабораторії кафебри та чисельне моделювання.

### Список використаних джерел

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Київ : Мінрегіон України, 2014. 199 с.
2. Бритл М., Браун Д., Билык А., Ковалевская З. Примеры расчета стальных конструкций зданий в соответствии с еврокодом 3 и национальными приложениями Украины. Київ : Український центр Сталевого будівництва, 2015. 85 с.
3. Гарднер Л. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций ЕМ 1993-1-1,1993-1-3, ЕБ 1993-1-8: пер. с англ. Л. Гарднер, Д. А. Нетеркот; ред. серии Х. Гульванесян. 2012. 224 с.
4. ANSI/AISC 360-16. An American National Standard. Specification for Structural Steel Buildings: American Institute of Steel Construction, 2016. 680 p.
5. Steel construction. Thirteenth edition : American Institute of Steel Construction, 2005. 2181p.
6. Structuristikstructural thinking. [Електронний ресурс]. URL: [https://www.structuristik.com/about\\_project](https://www.structuristik.com/about_project).