

УДК 624.072.2.014.2-413

С.А. Гудзь канд. техн. наук, доц., А.В. Гасенко канд. техн. наук, доц.
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Україна

ЗБЕРЕЖЕННЯ СТІЙКОСТІ СТАЛЕВИХ БАЛОК ПОКРИТТЯ ЗА РАХУНОК ЖОРСТКОСТІ ПРИЄДНАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

S.A. Goods Ph.D., Assoc. Prof., A.V. Gasenko Ph.D., Assoc. Prof.
**STABILITY SAVING OF STEEL ROOF BEAMS BY
STIFFNESS OF CONNECTED CONSTRUCTIONS**

Проведемо аналіз і намітимо шляхи вирішення проблеми визначення несучої здатності сталевих балок, що схильні до втрати загальної стійкості. Рівна двотаврова балка, що згинається в площині стінки, може відмовити внаслідок втрати нею загальної стійкості. При досягненні навантаженням критичного значення така балка починає закручуватись і виходити з площини згину. Розрахунок на стійкість, що міститься в нормах, ураховує експлуатаційні геометричні недосконалості реальної балки у вигляді початкових викривлень у площині найменшої жорсткості введенням додаткового коефіцієнту. Схильність балки до нестабільності виникає внаслідок недостатнього розкріплення стиснутого пояса балки приєднаними конструкціями, до яких віднесено: монолітні та збірні залізобетонні плити; сталевий плоский і профільований настил, сандвіч-панелі й інші огорожувальні конструкції; прогони, балки настилу та інші другорядні балки; дискретні в'язі (горизонтальні хрестові в'язі, тяжі). Перші два типи конструкцій можна віднести до континуальних в'язей, інші два належать до дискретних. Ці конструкції зменшують розрахункову довжину балки та підвищують її загальну стійкість. Також стабілізація балок може відбуватись за рахунок заходів із влаштування конструктивних деталей: плоских і об'ємних ребер жорсткості, виступів балок у приопорних ділянках і примикання колон у місцях обпирання. В'язі різного роду можуть не тільки виконувати свою безпосередню функцію, але й ефективно використовуватися для закріплення сталевих балок з метою уникнення закручування та втрати стійкості, таким чином зменшуючи ступінь використання перерізу і витрати сталі. Закручування статично визначених балок не відбувається, якщо зсувної жорсткості в'язей достатньо для забезпечення повного закріплення стиснутого пояса балки від поперечних зміщень. У всіх інших випадках необхідно перевіряти розрахунком достатню крутильну жорсткість в'язей. Балка вважається достатньо розкріпленою від кручення, якщо наявна крутильна жорсткість конструкцій, що її розкріплюють, більша від потрібної (умова ВВ.3 EN 1993-1-1), або спрощено при дискретному боковому розкріпленні стиснутого пояса повинна виконуватись умова 6.59 EN 1993-1-1 або умова 9.30 ДБН В.2.6-198:2014.

При дотриманні вимог нормативного документа [1, п. 9.4.4] стійкість балки двотаврового перерізу, що згинається у площині стінки або у двох площинах, зазвичай не перевіряється. В інших випадках, при недостатньому закріпленні стиснутого пояса, потрібно виконати розрахунок стійкості балки за формулою з коефіцієнтом стійкості при згині. Проте вплив жорсткості в'язей на підвищення стійкості балки в українських нормах ніяк не відображено. Тому розроблення методів урахування жорсткості в'язей при розрахунку сталевих балок є актуальною науково-технічною проблемою.

Якщо в'язі жорстко приєднані до верхнього пояса, то вони перешкоджають закручуванню і втраті стійкості балки за згинально-крутильною формою. Згідно з європейськими нормами [2] розрахунок стійкості балки, який полягає у визначенні критичного згинального моменту, при дії поздовжнього стискувального зусилля, що не пере-

вищує 10% критичної сили, виконувати не потрібно за наявності достатньої крутильної жорсткості в'язей. Для цього слід спочатку визначити зсувну жорсткість в'язей і порівняти її з потрібною. Вільна вісь обертання балки приймається, коли наявна зсувна жорсткість в'язей, менша від потрібної. При достатній зсувній жорсткості вважається, що стиснутий пояс повністю закріплений від поперечних зміщень і вісь обертання, котру в цьому випадку називають зв'язаною (обмеженою), проходить по верху балки. Щоб визначити умовну гнучкість для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, залежно від якої встановлюється знижувальний коефіцієнт стійкості при згині за європейськими нормами, потрібно знати критичний момент втрати стійкості плоскої форми згину в пружній стадії (M_{cr} , інша назва – умовний критичний згинально-крутильний момент). Його значення для шарнірно опертої по кінцях двотаврової балки, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням, може бути встановлене згідно з національним додатком National Application Document (NAD) до EN 1993-1-1. В інших випадках критичний момент рекомендується визначати чисельно за допомогою моделювання. Для шарнірно опертого по кінцях стержня, завантаженого рівномірно розподіленим навантаженням і опорними згинальними моментами, існує методика визначення критичного моменту (M_{cr}), яку наведено в п. 6.6 роботи [3]. За таких умов і при різних граничних умовах і видах навантажень рекомендується використання спеціальної безкоштовної програми LTBeam (вона може бути вільно завантажена із сайту: <http://www.cticm.com>). Критичний момент потрібен для розрахунку недостатньо розкріплених згинних сталевих двотаврових елементів за поперечно-крутильною формою втрати стійкості (англ. – lateral torsional buckling). Окрім цього, інколи доцільно врахувати крутильну і/або зсувну жорсткість конструкцій, що дискретно чи континуально розкріплюють стиснутий пояс балки в більшості практичних випадків і зменшують деформації його зміщення [4, 5]. Врахування заокруглень у місці примикання полицки до стінки дозволяє суттєво збільшити значення моменту інерції при вільному крученні, необхідного для розрахунків. Його теж можна визначити в поширеній комп'ютерній програмі LTBeam. Формулу для визначення критичного моменту з урахуванням зсувної (крутильної) жорсткості можна вивести, використовуючи наближений спосіб розв'язання задачі для однопролітної балки, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням без опорних згинальних моментів, з шарнірними опорами у формі вил. Критичне навантаження може бути знайдене при використанні умови рівності нулю сумарної елементарної віртуальної роботи на основі принципу можливих переміщень (енергетичного методу) з введенням виразів, що задовольняють граничні умови при шарнірному обпиранні. Знаючи критичний момент для врахування зсувної жорсткості, можна уточнити формулу (Н.3) ДБН [1] для визначення коефіцієнта стійкості при згині.

Література

1. ДБН В.2.6-198:2014. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування / Остаточна редакція. Видання офіційне. – Надано чинності з 1 січня 2015 р. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 199 с.
2. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010. Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд. – К.: Мінбуд України, 2011. – 150 с.
3. Kindmann, R.: Stahlbau, Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung. 4. Auflage, Berlin: Ernst & Sohn, 2008. – 429 s.
4. Kuhlmann, U.: Stahlbau-Kalender 2009: Schwerpunkt – Stabilität, Berlin: Ernst & Sohn, 2009. – 1032 s.
5. Wagenknecht, G. Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3: Band 1 Tragwerksplanung, Grundlagen, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2011. – 396 s.