

РОЗРАХУНОК ТОНКОСТІННИХ СТАЛЕВИХ БАЛОК НА СУМІСНУ ДІЮ ПОПЕРЕЧНОГО ЗГИНУ І КРУЧЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Гудзь С.А.

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка
м. Полтава, Україна*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Останнім часом завдяки високій ефективності для покриттів промислових і цивільних каркасних будівель широко застосовують легкі покрівлі, що складаються з прогонів і настилу зі сталевих профільованого листа, жорсткість якого при закріпленні до верхнього поясу використовується для збільшення стійкості та закріплення тонкостінних балок від закручування. Вплив огороджувальних конструкцій на роботу сталевих балок виявляється у трьох аспектах: забезпечення загальної стійкості, підвищення несучої здатності та жорсткості балки. Проте при розрахунку балок урахування огороджувальних конструкцій відбувається далеко не завжди і досить наближено, що в кращому випадку призводить до перевитрат сталі, в гіршому – до небезпеки руйнування конструкції. Для підвищення надійності сталевих балок потрібно на стадії проектування передбачати відповідні засоби забезпечення сумісної роботи елементів конструкції покриття. Тому систематизація випадків і вдосконалення методів урахування огороджувальних конструкцій при розрахунку сталевих балок є актуальною науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень. Викладені у статті [1] експериментальні дослідження швелерної тонкостінної балки, до верхнього поясу якої був закріплений несучий настил, при згині та крученні виявили зменшення максимальних нормальних напружень на 28 %. Результати випробувань були підтвержені розрахунком балки з пружноподатливими в'язями за теорією тонкостінних стрижнів і за спрощеною методикою. При розрахунку балкової клітки методом скінченних елементів у роботі [2] має місце зниження до 35 % нормальних напружень в перерізах балок, обумовлене сумісною

роботою балок і сталевго настилу, котра враховувалась в моделях представленням настилу у вигляді приєднаних поясів. Наведений у роботі [3] розрахунок верхнього поясу сталевї ферми, який складається з двох швелерів і працює як багатопролітна нерозрізна балка тонкостінного профілю, з урахуванням впливу профільованого сталевго настилу і з'єднувальних планок дозволив знизити витрати сталі на 35 %. Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану і стійкості тонкостінних сталевих балок, розкріплених профільованим настилом, представлені в роботах С.І. Сладкова [4], С.І. Білика [5] та інших дослідників.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Питання визначення дійсного напружено-деформованого стану сталевих тонкостінних балок в конструкціях легких покриттів залишається відкритим і потребує ґрунтовних експериментально-теоретичних досліджень.

Постановка мети і задач досліджень. В роботі поставлено за мету провести аналіз впливу огорожувальних конструкцій, а саме профільованого настилу, на напружено-деформований стан і загальну стійкість тонкостінних сталевих балок, а також оцінити аналітичні методи їх розрахунку відповідно до будівельних норм.

Виклад основного матеріалу. Сталеві балки, що згинаються у двох площинах, розраховуються згідно з чинними нормами СНиП II-23-81* [6] на косий згин за формулою:

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_y \gamma_c, \quad (1)$$

де M_x ; M_y – розрахункові згинальні моменти відносно осі x і y ;

W_x ; W_y – моменти опору перерізу відносно осі x і y відповідно;

R_y – розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, згину за межею плинності;

γ_c – коефіцієнт умов роботи конструкції.

При передачі навантаження через суцільний жорсткий настил, який безперервно спирається на стиснутий пояс і надійно з ним з'єднується, а також при дотриманні вимог 5.16* СНиП II-23-81* [6] перевірка стійкості балки двотаврового перерізу, що згинається у площині стінки або у двох площинах, зазвичай не виконується. У разі застосування плоского і профільованого металевих настилів надійним

необґрунтовано вважається з'єднання їх зі стиснутим поясом балки зварюванням, на болтах або самонарізних гвинтах з дотриманням конструктивних вимог до з'єднання. В інших випадках, при недостатньому закріпленні стиснутого поясу, потрібно виконати розрахунок стійкості балки за формулою:

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_y \gamma_c, \quad (2)$$

де φ_b – коефіцієнт зниження розрахункового опору при згинально-крутильній формі втрати стійкості балки.

Формули додатку 7* СНиП П-23-81* [6], за якими визначається коефіцієнт φ_b , виведені без урахування можливих ексцентриситетів прикладення навантаження для ідеальної пружної балки симетричного перерізу, кінці якої мають шарнірне опирання і вільно депланують, а вплив початкових недосконалостей урахується в основному зменшеним коефіцієнтом умов роботи γ_c . При виведенні формул приймається, що ідеально рівна двотаврова балка, яка згинається в площині стінки, може відмовити внаслідок втрати нею загальної стійкості. При досягненні навантаженням критичного значення така ідеалізована балка починає закручуватись і виходити з площини згину. Однак найчастіше кручення в реальній балці виникає з самого початку завантаження у випадках: позацентрового прикладення навантаження (наприклад, при однобічному завантаженні під час монтажу, при різній завантаженості з двох сторін); поперечного згину балки у двох площинах (у разі, коли балка слугує прогоном похилої покрівлі або ригелем поперечної рами і сприймає горизонтальне навантаження в рівні верхнього поясу); наявності початкових геометричних недосконалостей балки, що виникають внаслідок випадкового утворення дефекту, пошкодження, або від цілеспрямованої зміни форми об'єкта (викривлення балки в горизонтальній площині, закручування перерізу); застосування швелерних та інших балок несиметричного перерізу.

Формули (1) і (2) справедливі лише за умови прийняття гіпотези плоских перерізів. При крученні площинність поперечного перерізу порушується і виникають додаткові напруження і деформації, названі депланацією перерізу. Для балок з відносно малою товщиною і висотою перерізу вплив кручення має доволі суттєве значення, зіставне з впливом згину, тому в таких випадках сталеві балки слід розраховувати як тонкостінні стрижні, що піддаються напруженням від згину і кручення, за формулою:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} + \frac{B}{I_\omega} \omega, \quad (3)$$

де B – згинально-крутильний бімомент;

I_ω – секторіальний момент інерції перерізу балки;

ω – максимальна секторіальна координата поперечного перерізу.

Згідно з теорією тонкостінних стрижнів В.З. Власова [7] згинально-крутильний бімомент B пропорційний другій похідній від функції кута повороту поперечного перерізу (кута закручування стрижня) θ'' :

$$B = EI_\omega \theta'', \quad (4)$$

де E – модуль пружності сталі.

Згинально-крутильний бімомент залежить від закручування балки, котрому перешкоджають зусилля, що виникають в огорожувальних конструкціях. Тому для усунення напружень від кручення потрібно забезпечувати розрахунком достатню крутильну жорсткість огорожувальних конструкцій, котра залежить від геометричних характеристик профільованого настилу, деформацій балки і параметрів з'єднання балки з настилом. В разі невиконання умови жорсткості слід виконати перевірку нормальних напружень від згину і кручення при визначенні внутрішніх зусиль з урахуванням реакцій у в'язях, роль яких і виконують огорожувальні конструкції.

Точне визначення кута закручування стрижня можливе на основі використання розширеної системи диференційних рівнянь рівноваги стрижня і принципу можливих переміщень з урахуванням податливості закріплювальних конструкцій, а також ексцентричності прикріплення балки на опорах. Спрощено згинально-крутильний бімомент може визначатись окремо від зовнішнього ексцентричного навантаження і від стабілізуючого навантаження за допомогою графіків, наведених на рис. 1. Під стабілізуючими (еквівалентними, умовними) навантаженнями розуміють сили, що виникають внаслідок геометричних недосконалостей і деформацій балки та діють між елементами конструкції покриття. Вони створюють активну дію на закріплювальні конструкції та підтримувальну дію на балку. Їх визначення відбувається в будівельній практиці майже виключно за допомогою наближених методів, які розглядають стиснутий пояс балки окремо від решти перерізу як безперервно підпертий стиснутий стрижень з постійною поздовжньою силою [6].

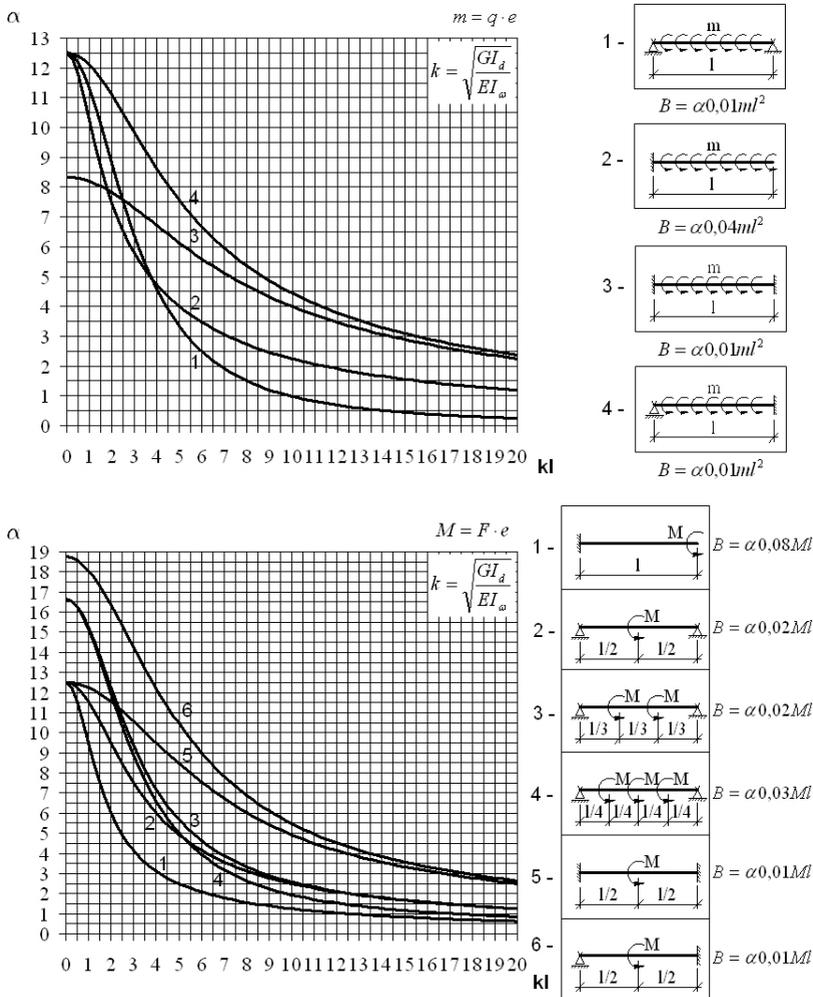


Рис. 1. Графіки для визначення розрахункових згинально-крутильних бімоментів (m – рівномірно розподілене погонне крутне навантаження, M – зосереджене крутне навантаження, k – пружна згинально-крутильна характеристика поперечного перерізу балки)

Плоска модель стиснутого стрижня має ряд суттєвих недоліків і часто призводить до необґрунтованого завищення результатів, тому на даний момент у рамках дисертаційного дослідження виконується розробка просторової моделі для опису стабілізуючих навантажень на основі

розширеної системи диференційних рівнянь рівноваги стрижня і принципу можливих переміщень з урахуванням податливості закріплювальних конструкцій і реалізація такої моделі в програмному середовищі. Проведені нами експериментальні дослідження тонкостінних сталевих балок при дії поперечного згину і кручення підтвердили важливість урахування і забезпечення сумісної роботи балок з профільованим настилом. Несуча здатність конструкції покриття при повному закріпленні профільованого настилу до балок збільшувалась на 22-25 % порівняно з окремо працюючими балками. При закріпленні профільованого настилу до балок в кожній другій хвилі його жорсткість використовувалась лише на 18-20 %.

Висновки. Профільований настил може не тільки виконувати функцію огорожувальної конструкції, але і ефективно використовуватись для закріплення балок від закручування поряд із в'язями і прогонами.

Література

1. Глазунов А. Ю., Бобряшов В. М., Шухардин А. А. О прочности и деформативности тонкостенных балок с учетом их связей с настилом / Промышленное и гражданское строительство, 2001. – №10. – С.21-22.
2. Лампси Б.Б., Панкратов А.А., Сафонов В.В. Исследование напряженно-деформированного состояния металлических балочных конструкций типа перекрытий / Металлические конструкции и испытания сооружений: Межвузовский тематический сборник трудов. – Л.: ЛИСИ, 1982. – С.16-22.
3. Харитонов И.Р., Хисамов Р.И. Экспериментально-теоретическое исследование работы составных стержней совместно с профилированным настилом / Известия вузов. Строительство и архитектура, 1982. – № 7. – С.7-10.
4. Сладков С.И. Устойчивость плоской формы изгиба балок с настилом / Соппротивление материалов и теория сооружений. Вып. 55. – К.: Будівельник, 1989. – С.86-89.
5. Білік С.І. Сталеві балки, розкріплені профільованим настилом / Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Технічні науки (будівництво). – № 45. – Луганськ: МАП України, ЛНАУ, 2005. – С.85-91.
6. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96с.
7. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. – М.: Госиздат, Физматгиз – математической литературы, 1959. – 568 с.