

ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ПРИЄДНАНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА СТІЙКІСТЬ БАЛОК

У роботі отримано вирази для врахування впливу зсувної та крутильної жорсткості приєднаних до сталеві балки конструкцій, а саме профільованого настилу та дискретних в'язей, на коефіцієнт стійкості балки при згині, проведено порівняльний аналіз методик визначення несучої здатності за стійкістю гнучких двотаврових елементів, що зазнають впливу згину. Виявлено їх переваги та недоліки. Запропоновано переглянути будівельні норми у бік збільшення економії матеріалу шляхом деталізації розрахунку.

Ключові слова: двотаврова балка, втрата стійкості, жорсткість в'язей.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Як відомо, звичайні методи розрахунку і проектування несучих конструкцій сталевих каркасу передбачають, що всі навантаження передаються системою другорядних стрижнів, які працюють незалежно і пов'язані лише вимогами стійкості та послідовності передачі зусиль. Але жорстко (кінцево) закріпленій до балок профільований настил впливає на розподіл зусиль і величину деформацій. Сумісна робота несучих конструкцій із лише умовно огорожувальними, які теж мають властивості несучості, проявляється по-різному. Може відбутись перерозподіл зусиль, що призведе до зменшення прогину, підвищення загальної стійкості, або перевантаження окремих елементів, руйнування з'єднань, тріщиноутворення. Врахування цих факторів сприяє підвищенню надійності несучих конструкцій будівлі, зменшенню витрат сталі та полегшенню покриття.

Розглянемо основні етапи розрахунку сталевих частково (недостатньо) розкріплених балок на основі нового підходу до аналізу внутрішніх силових

факторів і геометричних характеристик із урахуванням конструктивних особливостей умов роботи конструкції. Цікавим видається дослідження європейського підходу та використання закордонного досвіду в питаннях розрахунку на стійкість.

Аналіз останніх досліджень. Відомі в усьому світі праці професора С.П. Тимошенка заклали теоретичну основу розрахунку металевих балок незамкненого профілю. Його теорія пружної стійкості [1, 2] дала передумови для визначення критичного навантаження також і при складному опорі. А застосування енергетичного методу до задач стійкості отримало бурхливий розвиток у теперішній час. Дослідженню стійкості пружних балок двотаврового перерізу, що перебувають в умовах згину в площині стінки і закріплення стиснутого поясу від поперечних зміщень, вперше приділено увагу в його роботі [2], результати якої були використані при розробці практичних методів розрахунку і впроваджені у СНиП II-23-81* [3], а потім і в ДБН В.2.6-198:2014 [4]. Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану і стійкості тонкостінних сталевих балок, розкріплених профільованим настилом, представлені в роботах С.І. Сладкова [5], С.І. Білика [6] та інших дослідників. Основи дослідження надання стійкості сталевим балкам за рахунок жорсткості прогонів, що кріпляться до стиснутого поясу балок, закладено в статті [7].

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Одним із найменш досліджених питань, які постають перед проектувальником при розрахунку сталевих конструкцій є розрахунок згинних елементів за згинально-крутильною формою втрати стійкості, яка часто буває вирішальною при визначенні несучої здатності. Це питання залишається відкритим і потребує ґрунтовних досліджень і порівняльного аналізу різних методик розрахунку.

Постановка мети і задач досліджень. У роботі поставлено за мету провести порівняльний аналіз методик визначення несучої здатності та напружено-деформованого стану сталевих двотаврових елементів за стійкістю з урахуванням жорсткості приєднаних конструкцій, виявивши їх переваги та недоліки, і на основі аналізу вдосконалити вітчизняну методику.

Виклад основного матеріалу. Сталевий профільований настил трапецієвидної форми, котрий використовується як покрівельна або стінова огорожувальна конструкція, володіє в своїй площині зсувною жорсткістю S , котру можна представити як відношення зсувної сили V до кута φ , утвореного зміщеним положенням деформованої конструкції (рис. 1). Якщо уявити настил у вигляді діафрагми жорсткості (рис. 1), тобто жорсткого плоского диску, приєднаного до верхнього поясу балок, що схильні до втрати загальної стійкості, то вони можуть бути завдяки наявності в настилу зсувної жорсткості достатньо ефективно вбережені від бічного випинання. Для цього потрібно віднайти несучу здатність настилу. Всі позначення, крім обумовлених, і назви осей мають європейське походження.

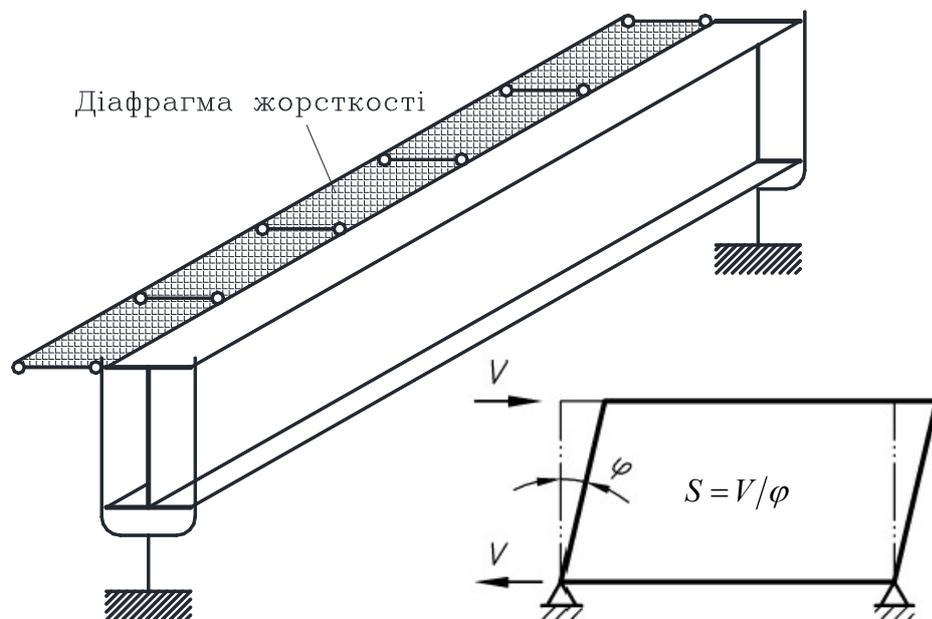


Рис. 1. Представлення профільованого настилу як діафрагми жорсткості, що має зсувну жорсткість

Принцип роботи діафрагми жорсткості схожий на поведінку гратчастої в'язевої ферми, в якій мембрани замінені на розтягнуті діагоналі (рис. 2). В обох випадках поперечна сила сприймається внутрішніми елементами, а згинальний момент – поясами. Але на відміну від гратчастої ферми в стрижневих елементах діафрагми жорсткості виникають не постійні, а лінійно змінні поздовжні сили.

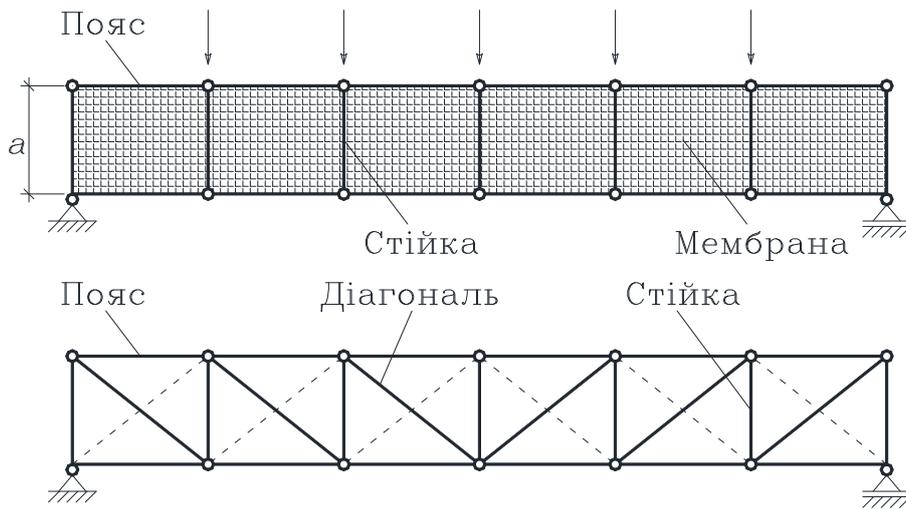


Рис. 2. Подібність діафрагми жорсткості та ґратчастої в'язевої ферми

Наявна крутильна жорсткість континуальних в'язей (профільованого настилу) c_ϑ може бути представлена як відношення крутного рівномірно розподіленого навантаження m до кута закручування балки ϑ та інтерпретована як система трьох пружин, що послідовно включаються в роботу, перша з яких – це теоретична крутильна жорсткість, обумовлена згинальною жорсткістю самого настилу, яка визначається за умови прийняття жорсткого з'єднання балки і настилу, друга складова обумовлена деформаціями з'єднання та враховує вплив місцевих деформацій настилу і з'єднувальних засобів, третя крутильна жорсткість обумовлена деформаціями закріпленої балки (рис. 3).

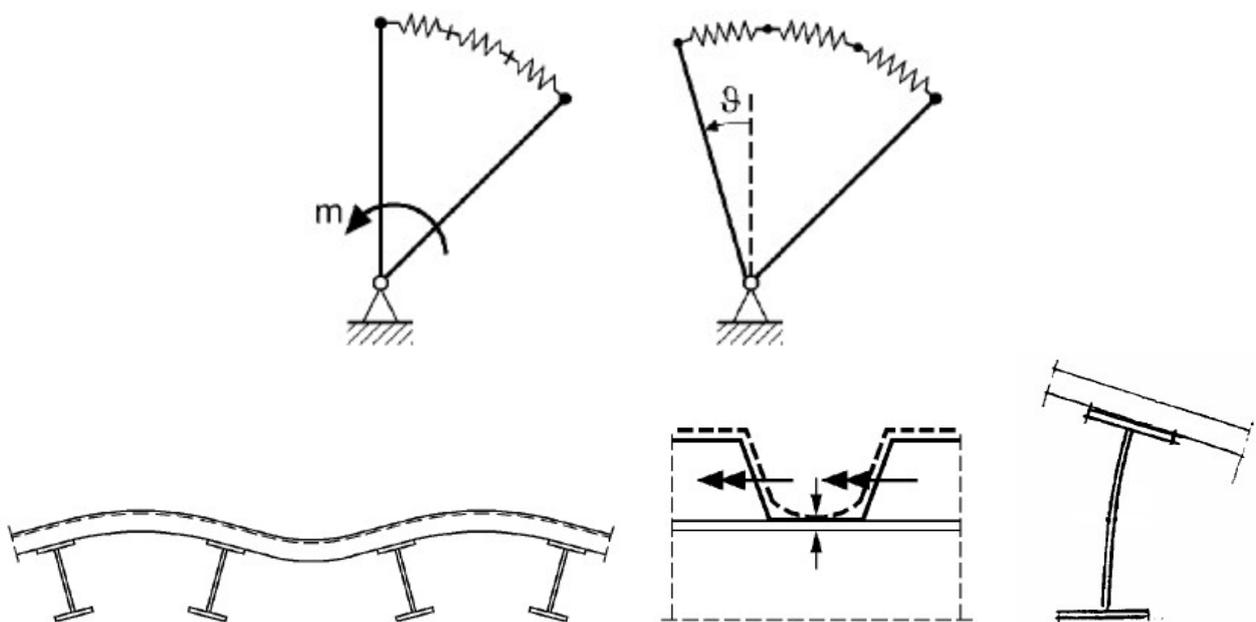


Рис. 3. Представлення крутильної жорсткості в'язей як системи пружин

Наявна крутильна жорсткість дискретних в'язей (прогонів) c_g інтерпретується аналогічно, але оскільки в місці з'єднання прогону та балки не відбувається взаємного зміщення, то цією частиною нехтують.

Визначення впливу крутильної жорсткості приєднаних конструкцій на стійкість балок. Для визначення критичного навантаження M_{cr} використаємо умову рівності нулю сумарної елементарної віртуальної роботи від жорсткості (δW_e), внутрішніх зусиль (δW_i) і навантаження (δW_q) на основі принципу можливих переміщень (енергетичного методу) з введенням виразів для лінійного v і кутового переміщення ϑ , згинального моменту M_y , поперечної сили V_z та навантаження q_z , що задовольняють граничні умови при шарнірному обпиранні:

$$\delta W = \delta W_e + \delta W_i + \delta W_q = 0, \quad (1)$$

$$\delta W_e = \int_0^L \delta v'' EI_z v'' dx + \int_0^L \delta \vartheta'' EI_\omega \vartheta'' dx + \int_0^L \delta \vartheta' GI_t \vartheta' dx + \int_0^L \delta \vartheta c_g \vartheta dx; \quad (2)$$

$$\delta W_i = - \int_0^L \delta v' M_y \vartheta' dx - \int_0^L \delta v' V_z \vartheta dx - \int_0^L \delta \vartheta' M_y v' dx - \int_0^L \delta \vartheta V_z v' dx; \quad (3)$$

$$\delta W_q = \int_0^L \delta \vartheta q_z z_p \vartheta dx. \quad (4)$$

$$v = A \sin \frac{\pi x}{L}; \quad \vartheta = B \sin \frac{\pi x}{L}; \quad (5)$$

$$v' = A \frac{\pi}{L} \cos \frac{\pi x}{L}; \quad \vartheta' = B \frac{\pi}{L} \cos \frac{\pi x}{L}; \quad (6)$$

$$v'' = -A \frac{\pi^2}{L^2} \sin \frac{\pi x}{L}; \quad \vartheta'' = -B \frac{\pi^2}{L^2} \sin \frac{\pi x}{L}; \quad (7)$$

$$M_y = 4M_{cr} \left(\frac{x}{L} - \frac{x^2}{L^2} \right); \quad V_z = 4 \frac{M_{cr}}{L} \left(1 - 2 \frac{x}{L} \right); \quad q_z = \frac{8M_{cr}}{L^2}. \quad (8)$$

Після підставлення виразів (5) – (8) і проведення інтегрування отримаємо:

$$\int_0^L \delta v'' EI_z v'' dx = \delta A A E I_z \frac{\pi^4}{L^4} \int_0^L \sin^2 \frac{\pi x}{L} dx = \delta A A E I_z \frac{\pi^4}{L^4} \frac{L}{2}; \quad (9)$$

$$\int_0^L \delta \vartheta'' EI_\omega \vartheta'' dx = \delta B B E I_\omega \frac{\pi^4}{L^4} \frac{L}{2}; \quad (10)$$

$$\int_0^L \delta \vartheta' GI_t \vartheta' dx = \delta B B G I_t \frac{\pi^2}{L^2} \int_0^L \cos^2 \frac{\pi x}{L} dx = \delta B B G I_t \frac{\pi^2}{L^2} \frac{L}{2}; \quad (11)$$

$$\int_0^L \delta \varrho c_g \varrho dx = \delta BB c_g \int_0^L \sin^2 \frac{\pi x}{L} dx = \delta BB c_g \frac{L}{2} = \delta BB \frac{\pi^2}{L^2} c_g \frac{L^2}{\pi^2} \frac{L}{2}. \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \int_0^L \delta v' M_y \varrho' dx &= \delta ABM_{cr} \frac{\pi^2}{L^2} 4 \left(\int_0^L \frac{x}{L} \cos^2 \frac{\pi x}{L} dx - \int_0^L \frac{x^2}{L^2} \cos^2 \frac{\pi x}{L} dx \right) = \\ &= \delta ABM_{cr} \frac{\pi^2}{L^2} 4 \left(\frac{L}{4} - L \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{4\pi^2} \right) \right) = \delta ABM_{cr} \frac{\pi^2}{L^2} \frac{L}{2} \left(\frac{2}{3} - \frac{2}{\pi^2} \right); \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \int_0^L \delta v' V_z \varrho dx &= \delta ABM_{cr} \frac{4}{L} \frac{\pi}{L} \left(\int_0^L \sin \frac{\pi x}{L} \cos \frac{\pi x}{L} dx - 2 \int_0^L \frac{x}{L} \sin \frac{\pi x}{L} \cos \frac{\pi x}{L} dx \right) = \\ &= \delta ABM_{cr} \frac{\pi}{L^2} 4 \left(0 + 2 \frac{L}{4\pi} \right) = \delta ABM_{cr} \frac{\pi^2}{L^2} \frac{L}{2} \frac{4}{\pi^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

$$\int_0^L \delta \varrho q_z z_p \varrho dx = \delta BB q_z z_p \int_0^L \sin^2 \frac{\pi x}{L} dx = \delta BB q_z z_p \frac{L}{2} = \delta BBM_{cr} \frac{\pi^2}{L^2} \frac{L}{2} \frac{8}{\pi^2} z_p. \quad (15)$$

$$\int_0^L \delta v' M_y \varrho' dx + \int_0^L \delta v' V_z \varrho dx = \delta ABM_{cr} \frac{\pi^2}{L^2} \frac{L}{2} \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{\pi^2} \right). \quad (16)$$

Введемо позначення $\varsigma = \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{\pi^2} \right)^{-1} = 1,150$, тоді в свою чергу

$$\int_0^L \delta v' M_y \varrho' dx + \int_0^L \delta v' V_z \varrho dx = \delta AB \frac{M_{cr}}{\varsigma} \frac{\pi^2}{L^2} \frac{L}{2}; \quad \int_0^L \delta \varrho' M_y v' dx - \int_0^L \delta \varrho V_z v' dx = \delta BA \frac{M_{cr}}{\varsigma} \frac{\pi^2}{L^2} \frac{L}{2}.$$

Однорідна система рівнянь для невідомих A і B отримується, коли всі величини з віртуальними коефіцієнтами δA і δB скласти і відповідно прирівняти до нуля:

$$\begin{bmatrix} EI_z \frac{\pi^2}{L^2} & -\frac{M_{cr}}{\varsigma} \\ -\frac{M_{cr}}{\varsigma} & EI_\omega \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + c_g \frac{L^2}{\pi^2} + \frac{8}{\pi^2} z_p M_{cr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = 0. \quad (17)$$

Система має розв'язок, якщо визначник матриці дорівнює нулю. Критичний момент після перетворень набуває відомого вигляду з уточненням:

$$M_{cr} = \varsigma \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left(\sqrt{\frac{\frac{\pi^2 EI_\omega}{L^2} + GI_t + c_g \frac{L^2}{\pi^2}}{\frac{\pi^2 EI_z}{L^2}} + (\varsigma 0,405 z_p)^2} + \varsigma 0,405 z_p \right) =$$

$$= \zeta \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left(\sqrt{\frac{I_\omega + \frac{G L^2}{E \pi^2} \left(I_t + \frac{c_g L^2}{G \pi^2} \right)}{I_z} + (\zeta 0,405 z_p)^2} + \zeta 0,405 z_p \right) = \quad (18)$$

$$= \zeta \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left(\sqrt{c^2 + (\zeta 0,405 z_p)^2} + \zeta 0,405 z_p \right),$$

$$\text{де } c^2 = \frac{I_\omega + \frac{G L^2}{E \pi^2} \left(I_t + \frac{c_g L^2}{G \pi^2} \right)}{I_z} = \frac{I_\omega + \frac{8100 L^2}{21000 \pi^2} I_T}{I_z} = \frac{I_\omega + 0,039 L^2 I_T}{I_z} \quad (I_T = I_t + \frac{c_g L^2}{G \pi^2}).$$

При значних від'ємних опорних згинальних моментах і великій крутильній жорсткості наведені вирази не задовольняють граничні умови, що призводить до завищення результатів, тому отриману наближену формулу для збільшеного моменту інерції при вільному крученні I_T застосовувати не рекомендується.

Визначення впливу зсувної жорсткості приєднаних конструкцій на стійкість балок. 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. Згідно зі схемою на рис. 4 в'язь, що має зсувну жорсткість, прикладається на відстані z_S від центру згину перерізу балки M .

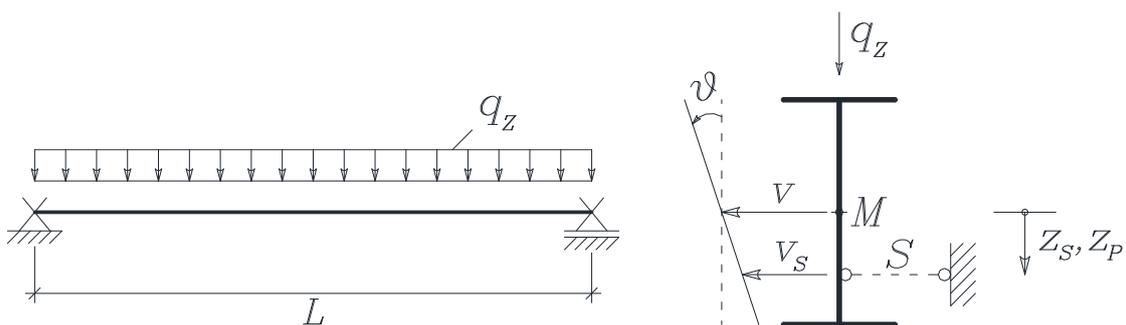


Рис. 4. Схема однопролітної балки, що має зсувну жорсткість

Лінійне переміщення v_S в точці прикладення в'язі дорівнюватиме

$$v_S = v - z_S \vartheta. \quad (19)$$

В такому випадку додаткова віртуальна робота від жорсткості становитиме

$$\begin{aligned} \delta W_S &= \int_0^L \delta v'_S S v'_S dx = \int_0^L \delta (v - z_S \vartheta)' S (v - z_S \vartheta)' dx = \\ &= \int_0^L \delta v' S v' dx - \int_0^L \delta v' S z_S \vartheta' dx - \int_0^L \delta \vartheta' S z_S v' dx - \int_0^L \delta \vartheta' S z_S^2 \vartheta' dx. \end{aligned} \quad (20)$$

Умова рівності нулю сумарної елементарної віртуальної роботи матиме вигляд, в якому використовується лише зсувна частина жорсткості за рахунок наявності робочої пружної в'язі

$$\delta W = \delta W_S + \delta W_i + \delta W_q = 0. \quad (21)$$

Однорідна система рівнянь для невідомих A і B отримується аналогічно попередній задачі:

$$\begin{bmatrix} S & -\left(\frac{M_{cr,S}}{\zeta} + S z_S\right) \\ -\left(\frac{M_{cr,S}}{\zeta} + S z_S\right) & S z_S^2 + \frac{8}{\pi^2} z_p M_{cr,S} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = 0. \quad (22)$$

Система має розв'язок, якщо визначник матриці дорівнює нулю. Критичний момент для врахування зсувної жорсткості після перетворень становитиме:

$$M_{cr,S} = \zeta S \left(-2z_S + \frac{8}{\pi^2} \zeta z_p \right). \quad (23)$$

При найпоширенішому розташуванні приєднаних конструкцій і поперечного навантаження на верхньому поясі $z_S = z_p = -\frac{h}{2}$; $\zeta = \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{\pi^2}\right)^{-1} = 1,150$, тоді отримуємо остаточний вираз:

$$M_{cr,S} = 0,614 S h. \quad (24)$$

Сумарний критичний момент складатиметься з двох частин:

$$M_{cr} = M_{cr,DT} + M_{cr,S}, \text{ де } M_{cr,DT} = M_{cr} (I_{\omega,D}, I_T). \quad (25)$$

Секторіальний момент інерції перерізу для розкріпленої двотаврової балки відносно точки обертання пропонується визначати за підбіраною формулою, яка практично повністю відповідає результатам чисельних розрахунків:

$$I_{\omega,D} = I_{\omega} \left(1 + \left(\frac{S}{S_a} \right)^2 \frac{I_{zf2}}{I_{zf1}} \right); \quad (I_{zf1} \neq 0); \quad (S \leq S_a), \text{ для прокатної балки } \frac{I_{zf2}}{I_{zf1}} = 1, \quad (26)$$

де S_a – зсувна жорсткість приєднаних конструкцій, потрібна для прийняття зв’язаної осі обертання.

Оскільки гранична умовна гнучкість для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, при якій коефіцієнт стійкості при згині за європейськими нормами дозволено приймати $\chi_{LT} = 1,0$, дорівнює $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$, то перевіркою стійкості плоскої форми згину можна знехтувати, якщо виконується умова:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr,0} + M_{cr,S}}} \leq 0,4, \text{ або } M_{cr,0} + M_{cr,S} \geq 6,25 W_y f_y, \text{ або} \quad (27)$$

$$S \geq S_a = 10,18 \frac{W_y f_y}{h} - \frac{M_{cr,0}}{0,614h}, \text{ де } M_{cr,0} = M_{cr}(I_{\omega}, I_t). \quad (28)$$

Подібна до отриманої проста умова для потрібної зсувної жорсткості при зазначених обмеженнях розрахункової схеми балки вперше була виведена в роботі В. Хайля [8]. В більшості випадків на практиці ця зсувна жорсткість досягається за рахунок сталевого профільованого настилу та/або дискретних в’язей. Проте для нерозрізних балок цієї жорсткості недостатньо, бо в приопорних ділянках стиснутим є нижній пояс балки внаслідок дії від’ємного згинального моменту. Якщо зсувна жорсткість настільки велика, що верхній пояс закріплений нерухомо, тобто присутня зв’язана вісь обертання, то для запобігання втраті стійкості балки необхідна додаткова крутильна жорсткість, щоправда значно менша, ніж при відсутності такої осі.

Наближений спосіб розв’язання задачі для статично невизначних балок міститься в [9, 10], однак при цьому повинні дотримуватись певні вимоги, тому в такому разі зручніше використати безкоштовний програмний продукт (наприклад, LTBeam) для точнішого знаходження критичного моменту чисельним методом.

Знаючи критичний момент для врахування зсувної жорсткості, можна уточнити формулу (Н.3) ДБН В.2.6-198:2014 [4] для визначення знижувального коефіцієнта стійкості при згині, який є функцією від коефіцієнта φ_1

$$\varphi_1 = \frac{1}{\lambda^2} = \frac{M_{cr}}{W_x R_y} = \psi_{\sigma_3} \frac{I_y}{I_x} \left(\frac{h_b}{l_{ef}} \right)^2 \frac{E}{R_y} \left(1 + \left(\frac{S h_b^2}{20,36 I_x R_y} \right)^2 \right) + 0,307 \frac{S h_b^2}{I_x R_y}, \quad (29)$$

де ψ_{σ_3} – коефіцієнт ψ ; варіант – без закріплень стиснутого поясу в прольоті.

Приклад розрахунку. Обчислимо приклад визначення впливу жорсткості профільованого настилу на стійкість балок (рис. 5), взятий з [11].

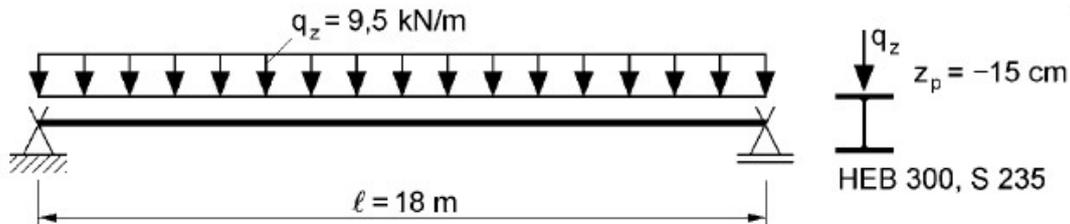


Рис. 5. Схема однопролітної балки з прикладу [11]

Розрахунки прикладу за різними методиками показали такі результати:

$S = 0$ кН; $c_g = 0$ кНм/м $M_{cr} = 295,6$ кНм (точно, LTBeam); $M_{cr} = 300,3$ кНм (наближено); похибка 1,6%; $M_{cr} = 252,2$ кНм (ДБН); похибка -15,8%;

$M_{cr} = 263,3$ кНм (ДБН, 2 і більше закріплення стиснутого поясу); похибка -11,6%.

$S = 0$ кН; $c_g = 7,27$ кНм/м $M_{cr} = 485,9$ кНм (точно, LTBeam); $M_{cr} = 495,8$ кНм (наближено); похибка 2,0%; $M_{cr} = 432,7$ кНм (ДБН); похибка -11,6%.

$S = 2350$ кН; $c_g = 0$ кНм/м $M_{cr} = 932,4$ кНм (точно, LTBeam); $M_{cr} = 733,5$ кНм (наближено); похибка -23,9%; $M_{cr} = 692,5$ кНм (ДБН); похибка -29,5%.

$S = 2350$ кН; $c_g = 7,27$ кНм/м $M_{cr} = 1329,7$ кНм (точно, LTBeam); $M_{cr} = 928,9$ кНм (наближено); похибка -35,5%; $M_{cr} = 878,4$ кНм (ДБН); похибка -40,9%.

Результати розрахунку прикладу показали, що врахування жорсткості профільованого настилу дозволило майже повністю нейтралізувати дестабілізуючий вплив і за точним розрахунком згідно з EN 1993-1-1 [12] знизити коефіцієнт використання (розрахункове співвідношення) на 39,9%, за наближеним розрахунком – на 36,4%, за ДБН В.2.6-198:2014 [4] – на 37,4%. Похибка розрахунку за наближеним методом – 5,7%. Похибка вдосконаленого розрахунку за ДБН В.2.6-198:2014 [4] порівняно з EN 1993-1-1 [12] – -3,8%. Похибку пораховано відносно середньо арифметичного значення.

Висновки. Наведене дослідження створює передумови для перегляду норм проектування сталевих конструкцій у бік збільшення економії матеріалу за допомогою уточнювальних коефіцієнтів для врахування особливостей умов роботи гнучких стержнів, що піддаються згину в складі покриття.

Список літератури:

1. Timoshenko S.P. and Gere J.: Theory of Elastic Stability (2nd ed.), McGrawHill, New York, 1961. – 541 p.
2. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем / С.П. Тимошенко. – ГИТТЛ. Москва, 1955. – 569 с.
3. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
4. 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.
5. Сладков С.И. Устойчивость плоской формы изгиба балок с настилом / Сопротивление материалов и теория сооружений. Вып. 55. – К.: Будівельник, 1989. – С. 86 – 89.
6. Білик 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.
7. Lindner J. Stabilisierung von Biegeträgern durch Drehbettung - eine Klarstellung / J. Lindner // Stahlbau 56 (1987), S. 365 – 373.
8. Heil W. Stabilisierung von biegedrillknickgefährdeten Trägern durch Trapezblechscheiben / W. Heil // Stahlbau 56 (1994), S. 169 – 178.
9. Wagenknecht G. Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3: Band 1 Tragwerksplanung, Grundlagen, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2011. – 396 s.
10. Access Steel: NCCI: Elastic critical moment for lateral torsional buckling. SN003a-EN-EU, Access Steel, 2008. – 13 p.

11. Kindmann, R.: Stahlbau, Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung. 4. Auflage, Berlin: Ernst & Sohn, 2008. – 429 s.
12. 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.

С.А. Гудзь, А.В. Гасенко

Влияние жесткости присоединенных конструкций на устойчивость балок

В работе одержаны выражения для учета влияния сдвиговой и крутильной жесткости присоединенных к стальной балке конструкций, а именно профилированного настила и дискретных связей, на коэффициент устойчивости балки при изгибе, проведен сравнительный анализ методик определения несущей способности по устойчивости гибких двутавровых элементов, которые поддаются влиянию изгиба. Выявлены их достоинства и недостатки. Предложено пересмотреть строительные нормы в сторону увеличения экономии материала путем детализации расчета.

Ключевые слова: двутавровая балка, потеря устойчивости, жесткость связей.

S. Goods, A. Gasenko

The influence of the stiffness of attached structures on the stability of beams

The work contains expressions for taking into account the effect of the shear and torsional stiffness of structures attached to the steel beam, namely profiled floor and discrete connection, on the stability factor. The article deals with the comparative analysis of methods for determining the carrying capacity by stability of the flexible I-beams, which go under bending. The complex of their advantages as well as disadvantages was revealed successfully. The offer to revise construction norms in the direction of increasing material saving was made by detailed calculation.

Keywords: I-beam, lateral-torsional buckling, stiffness of the connection.