

Проінтегрувавши отримане лінійне диференціальне рівняння (5), одержимо

$$y = c_1 \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{N_K \cdot y}{E'_K \cdot I_y + E \cdot I_C}} \cdot x\right) + c_2 \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{N_K \cdot y}{E'_K \cdot I_y + E \cdot I_C}} \cdot x\right)$$

При  $x=0$ ;  $y=0$ ;  $c_2=0$ . Отже,

$$y = c_1 \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{N_K \cdot y}{E'_K \cdot I_y + E \cdot I_C}} \cdot x\right).$$

При  $x=l$ ;  $y=0$ ;  $c \neq 0$ . Отже,

$$\sin\left(\sqrt{\frac{N_K \cdot y}{E'_K \cdot I_y + E \cdot I_C}} \cdot l\right) = 0,$$

звідки

$$\sqrt{\frac{N_K}{E'_K \cdot I_y + E \cdot I_C}} \cdot l = \pi \cdot k, \quad (6)$$

де  $k$  – напівхвиля поздовжнього згину.

Використовуючи формулу (6) і враховуючи  $N_H$ , одержимо вираз для визначення критичної сили, що відповідає умові (3).

При  $k=1$

$$N_{KP} = N_K - N_H = \frac{\pi^2 \cdot (E_y \cdot I_y + E \cdot I_C)}{l^2} - N_H. \quad (7)$$

**Висновок.** Якщо посилений під навантаженням стрижень повністю розвантажити, то ми отримаємо елемент (стрижень) з початковими напруженнями. Враховуючи це, можна зробити висновок, що робота посиленних в пружній стадії під навантаженням сталевих стрижнів аналогічна роботі на стиск стрижнів з початковими напруженнями.

УДК 624.014.2

О.В. Петренко

Національний університет «Львівська політехніка»,  
кафедра будівельного виробництва

## КОНСТРУЮВАННЯ ЗГИНАНИХ КОМПЛЕКСНИХ КАРКАСНО-ОБШИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СТАЛЕВИМИ ТОНКОСТІННИМИ ХОЛОДНОГНУТИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ КАРКАСА ТА ПЛИТНОЮ НЕМЕТАЛЕВОЮ ОБШИВКОЮ

© Петренко О.В., 2004

*Наведено методику визначення розрахункової довжини ділянки для сприйняття зсуваючих зусиль між сталевими тонкостінними холодногнутими елементами каркаса та плитною неметалевою обшивкою згинаних комплексних каркасно-обшивних конструкцій*

**Актуальність проблеми.** Комплексні конструкції із сталевих елементів каркаса та плитної неметалевої обшивки є ефективними при будівництві та реконструкції промислових та цивільних будинків [1]. Розрахункова схема комплексної конструкції [2, 3, 4] є балкою, яка складена з двох брусів, об'єднаних за висотою поперечними та зсувними з'єднаннями (рис. 1, а, г).

**Аналіз останніх досліджень.** Поперечними та зсувними з'єднаннями служать самонарізаючі шурупи, що влаштовуються "по міццю". Схема конструкції дає змогу [2] вважати поперечні з'єднання жорсткими і нехтувати поперечними деформаціями. З'єднання зсуву можуть мати певну податливість, тому значення зсуваючих напружень у шві складеної балки з початком координат у середині прогону при рівномірно розподіленому навантаженні згідно з [2] матиме вигляд залежності (1)

$$\tau = -\frac{qc}{\gamma \sum EI} x + \frac{qc}{\gamma \lambda} \frac{sh\lambda x}{\sum EI ch\lambda l}, \quad (1)$$

де  $\lambda = (\xi\gamma)^{1/2}$ ;  $\xi$  – коефіцієнт жорсткості шва  $\xi = T/\Delta$ ;  $T$  – зсуваюче зусилля на одиницю довжини шва,  $\Delta$  – деформація взаємного зсуву суміжних волокон сталевго елемента і обшивки;  $\gamma = 1/E_{ст}A_{ст} + 1/E_{обш}A_{обш} + c^2/\sum EI$ , де  $c$  – відстань між центрами ваги перерізів сталевго елемента і обшивки. Перший член залежності (1) виражає значення напружень  $\tau$  у монолітній балці, тому вираз (1) можна записати у вигляді (2)

$$\tau_M = -\frac{qc}{\gamma \sum EI} x. \quad (2)$$

$$\tau = \tau_M \left[ 1 - \frac{sh\lambda x}{ch\lambda l} \right].$$

Максимальні сколюючі напруження (3) виникають на опорах, де дотична до епюри цих напружень горизонтальна ( $\tau' = 0$ ).

$$\tau_{max} = \tau_{Mmax} \left[ 1 - \frac{th\lambda x}{\lambda l} \right]. \quad (3)$$

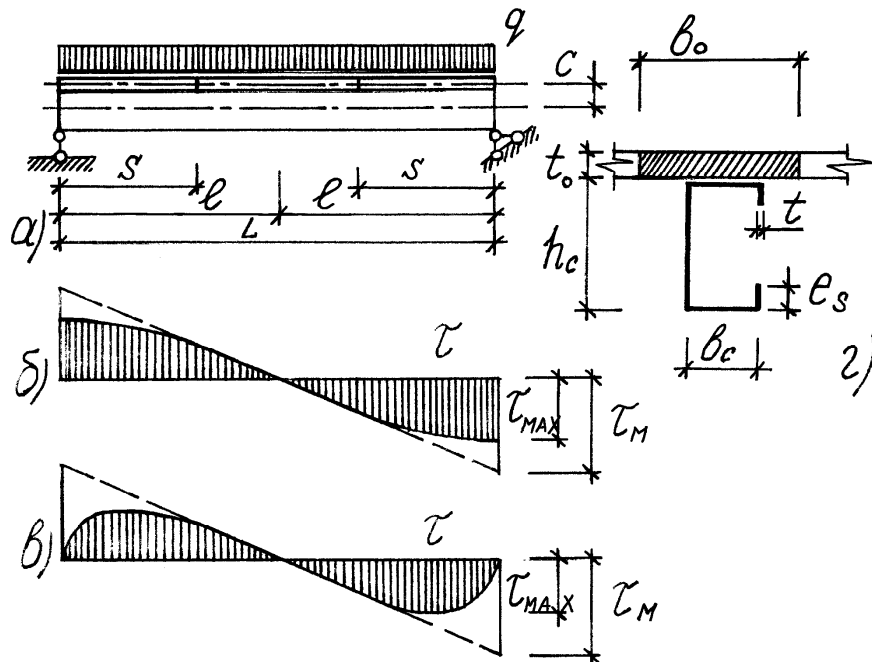


Рис. 1. Розрахункова схема комплексної конструкції:

а – розрахункова схема; б – епюра зсуваючих напружень для балки з незакріпленими торцями; в – епюра зсуваючих напружень для балки з незсвними торцями, г – розрахунковий поперечний переріз

Як видно з рис. 1, б, в, для комплексної балки з незсвними торцями значення зсуваючих напружень на приопорних частинах менші, ніж для балки з незакріпленими торцями, що робить можливим застосування зсувних з'єднань меншої несучої здатності. Проте технологія влаштування

та експлуатаційна надійність торцевого упору для балок з неметалевою обшивкою вимагають проведення додаткових експериментальних досліджень. Тому тут розглядатимемо балки з незакріпленими кінцями. Торцеві упори, виконані в експериментальних зразках [5] і рекомендовані до застосування у серійних конструкціях, у розрахунках не розглядаються і служать для запобігання руйнуванню балки при аварійній втраті несучої здатності з'єднань зсуву.

**Мета роботи.** Для раціонального проектування з'єднань зсуву комплексної конструкції визначимо розмір припорних ділянок з розрахунковим встановленням з'єднань. Для цього необхідно визначити сумарне зсуваюче зусилля  $s$  на половині прогону балки.

**Визначення розрахункової довжини припорної ділянки для сприйняття зсуваючих зусиль.** Відомо, що у металевих та залізобетонних конструкціях для сприйняття поперечних сил влаштовують конструктивні заходи на розрахунковій припорній ділянці  $s$ , що дорівнює 0,25 $l$ , тоді як для складених по висоті дерев'яних балок розрахункова припорна ділянка з нагельми для сприйняття зсуваючих зусиль становить 0,4 $l$  [6, 7, 8, 9], що зумовлено положенням центру ваги епюри дотичних напружень. Для комплексної конструкції з використанням сталевих каркаса та плитної неметалевої обшивки довжина розрахункової ділянки  $s$  очевидно, може лежати в межах від 0,25 $l$  до 0,4 $l$ ; скорочення розрахункової ділянки може компенсуватись збільшенням несучої здатності елементів з'єднання (збільшення діаметра шурупів чи зменшення кроку їх встановлення), і навпаки. Довжину  $s$  ділянки з'єднувальних елементів визначимо за (4):

$$s = n a, \quad (4)$$

де  $a$  – крок елементів з'єднання,  $n$  – необхідна кількість елементів з'єднання для сприйняття зсуваючого зусилля  $T$  на половині прогону, визначимо за (5):

$$n = T/T_0, \quad (5)$$

де  $T_0$  – несуча здатність одного елемента з'єднання, визначена як менше із значень несучої здатності по сталі ТГЕ (6) [10,11,12] та матеріалу обшивки (7) [6,7]:

$$T_0 = 2,1 t_s d R_s; \quad (6)$$

$$T_0 = 0,8 t_o d R_o, \quad (7)$$

де  $t_s$  – товщина сталі ТГЕ,  $t_o$  – товщина обшивки,  $d$  – діаметр елемента з'єднання,  $R_s$ ,  $R_o$  – розрахунковий опір, відповідно, сталі та обшивки змінанню.

Запроектуємо комплексну конструкцію із С-подібного сталевих ТГЕ та плитної неметалевої обшивки. Висоту сталевих елементів каркаса визначимо, користуючись відомою залежністю (8) [12,13] для мінімальної висоти сталевих балки.

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{R_y l}{E} \left[ \frac{1}{f} \right] \frac{g^H}{\gamma_f g^H}, \quad (8)$$

де  $l$  – прогін конструкції,  $[f/l]$  – значення граничного прогину,  $\gamma_f$  – коефіцієнт запасу міцності по навантаженню,  $g^H$  – нормативне корисне навантаження.

Проведемо розрахунки для таких характеристик матеріалів: сталь ТГЕ  $E_s = 2,06 \cdot 10^5$  МПа,  $R_y = 230$  МПа. Завдяки сумісній роботі з обшивкою стискаючі напруження у сталевому елементі каркаса зменшуються, що дає змогу збільшувати гнучкість стінки ТГЕ каркаса та полиці відносно окремо працюючого елемента (рис. 3). Для комплексної конструкції геометричні характеристики сталевих ТГЕ каркаса визначимо, користуючись такими залежностями [10]: товщину ТГЕ з умови гнучкості стінки  $\lambda_{st} = 200$ , ширину полиці  $b = 60t$ , величину крайового загину  $e = 10t$ , крок сталевих ТГЕ  $a = 0,6$  м. Обшивка  $E_o = 10000$  МПа,  $R_o = 10$  МПа; товщина обшивки  $t_o = 50$  мм, розрахункова ширина обшивки згідно з [14]  $b_o = 0,8 x b_{o,geom}$ ; елементи з'єднання – самонарізаючі шурупи  $\Phi 3,5$  мм, 6 мм та 8 мм з кроком на розрахунковій ділянці 7 $\Phi$ ; нормативне навантаження 2,5 кН/м.кв.;  $\gamma_f = 1,2$ ; граничний прогін балки 1/250,

Для визначення зсуваючого зусилля  $T$  на половині прогону, яке повинно бути сприйняте припорною ділянкою з'єднань зсуву, проінтегруємо залежність (1) для зсуваючих напружень на половині прогону і одержимо залежність (9), згідно з якою визначимо відносну розрахункову довжину ділянки з'єднань зсуву, зображену на рис. 2

$$T = \int_0^l \tau dx = \int_0^l \left( -\frac{qc}{\gamma \sum EI} x + \frac{qc}{\gamma \lambda \sum EI} \frac{\text{sh} \lambda x}{\text{ch} \lambda l} \right) dx = \frac{qc}{2\gamma \sum EI} (l^2 - x^2) - \frac{qc}{\gamma \lambda^2 \sum EI} \left( 1 - \frac{\text{ch} \lambda x}{\text{sh} \lambda l} \right). \quad (9)$$

**Результати проведених досліджень.** Як видно з графіків (рис. 2), довжина припорної ділянки  $s/l$  для сприйняття зсуваючих зусиль для шурупів діаметром 3,5 мм становить від 0,195 до 0,323 прогону для прогонів від 2 до 7 м. Для шурупів діаметром 6 мм та 8 мм значення довжини ділянки  $s/l$  лежить в межах від 0,224 до 0,3231 та від 0,202 до 0,3241, відповідно.

Проведені дослідження дозволяють зробити такі висновки:

– при застосуванні самонарізаючих шурупів для об'єднання частин комплексної каркасно-обшивної конструкції прогоном до 7 м під нормативне корисне навантаження 2,5 кН/м.кв., несуча здатність з'єднань зсуву забезпечується на припорних ділянках розміром 0,351 кожна.

– при влаштуванні з'єднання з кроком шурупів 7Ф, несуча здатність з'єднання залежить від діаметра шурупів несуттєво (в межах 17 %) для шурупів діаметром від 3,5 мм до 8 мм.

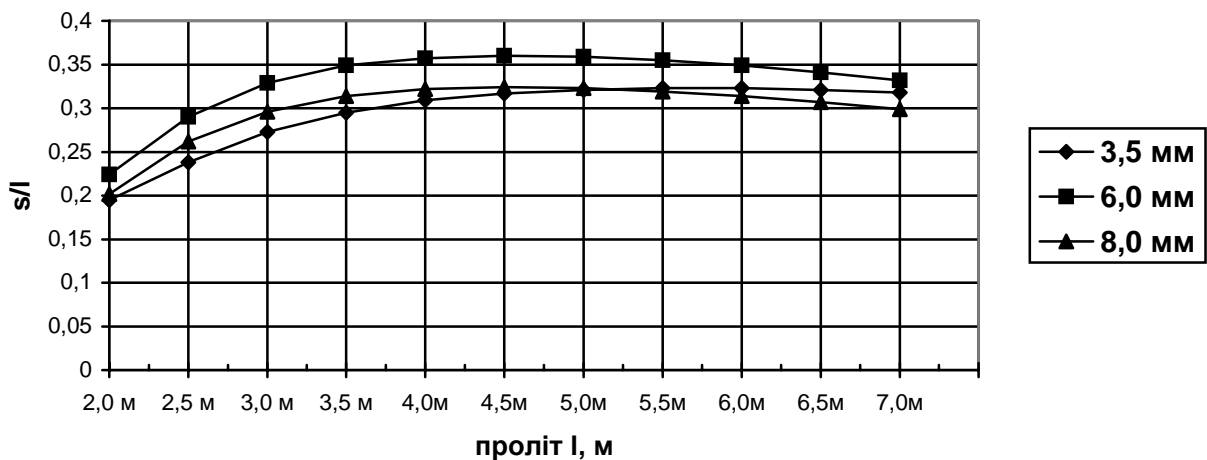


Рис. 2. Відносна довжина припорної ділянки  $s/l$  для сприйняття зсуваючих зусиль для різних прогонів залежно від діаметра з'єднань зсуву – шурупів

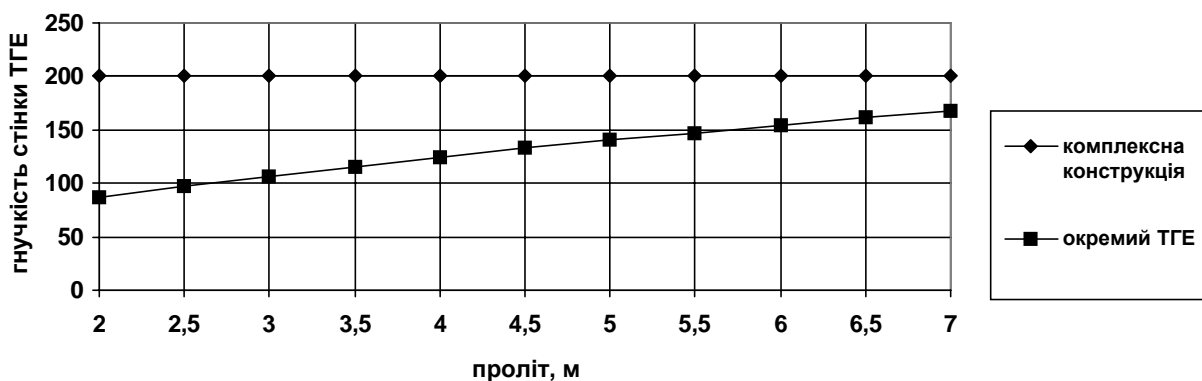


Рис. 3. Гнучкість стінки сталевих елементів

Для визначення зменшення витрати сталі на 1 м. кв. перекриття у результаті сумісної роботи, запроєктуємо окремо працюючий сталевий ТГЕ з аналогічним кроком 0,6 м під аналогічне навантаження 2,5 кН/м.кв. для прогонів від 2 м до 7 м. Геометричні характеристики сталевих ТГЕ: висота перерізу згідно з (8), товщина – з умови забезпечення згинальної жорсткості; ширина полиці  $b=35t$  та величина крайового загибу  $e=15t$  згідно з [10,11].

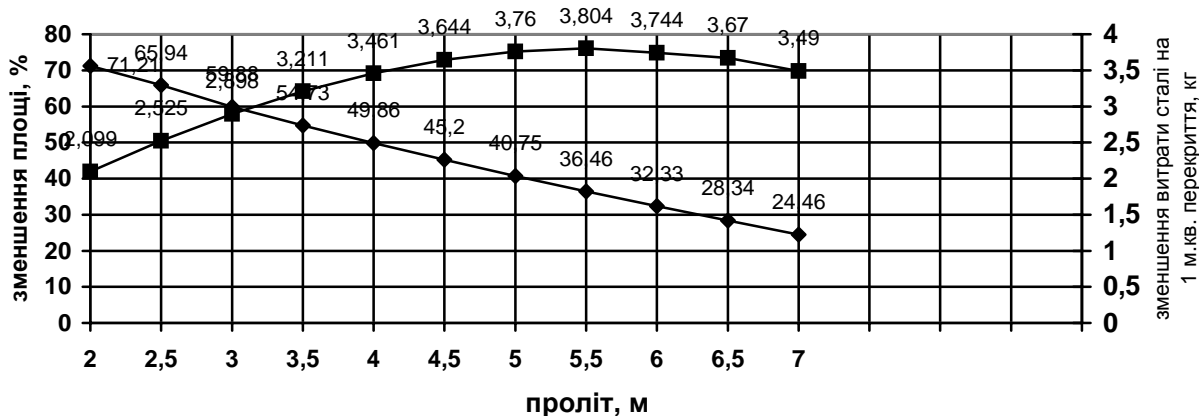


Рис. 4. Залежність зменшення площі поперечного перерізу сталевого елемента комплексної конструкції порівняно з окремо працюючим, а також зменшення витрати сталі на 1 м. кв. перекриття залежно від прогону

**Висновки.** Збільшення гнучкості стінки від 87(167) до 200, а також гнучкості полиці від 35 до 60 при сумісній роботі елементів каркаса дає змогу зменшити витрату сталі на величину від 2,099 до 3,804 кг/м.кв. перекриття (рис. 4). Проте забезпечення сумісної роботи ТГЕ з обшивкою вимагає ускладнення технології – влаштування несучих елементів з'єднання зсуву з кроком 7Ф на розрахункових приопорних ділянках. Економічний ефект при цьому зменшується і становить від 12 до 28 % залежно від прогону, механічних характеристик матеріалу обшивки та несучої здатності з'єднання. Загалом дослідження показують доцільність застосування згинаних комплексних конструкцій прогоном до 7,0 м під нормативне корисне навантаження до 2,5 кН/м.кв. із використанням сталевих тонкостінних холодногнутих елементів каркаса та плитної неметалевої обшивки.

1. Гоголь М.В., Петренко О.В. Підвищення ефективності роботи сталевих тонкостінних золоногнутих елементів у цивільному будівництві // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1998. – № 360. – С.47–52. 2. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с. 3. Гоголь М.В., Петренко О.В. Особенности методів розрахунку сталевих тонкостінних холодногнутих елементів згинаних комплексних конструкцій // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 2000. 4. Гоголь М.В., Пелешко І.Д., Петренко О.В., Юрченко В.В. Оптимальне проектування згинаних тонкостінних холодногнутих елементів С-подібного перерізу // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 1998. – № 360. – С.42–47. 5. Гоголь М.В., Петренко О.В. Експериментальні дослідження згинаних комплексних конструкцій каркасно-обшивного типу // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб.наук.праць. Вип. 4. Рівненський ДТУ. – Рівне, 2000. – С.154–161. 6. Проектирование и расчет деревянных конструкций: Справочник / И.М. Гринь, В.В. Фурсов, Д.И. Бабушкин и др.; Под общ. ред. И.М. Гриня. – К.: Будівельник. – 240 с. 7. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. для вузов/ Ю.В. Слишкоухов, В.Д. Буданов, М.М. Ганноев и др.; Под ред. Г.Г. Карлсена и Ю.В. Слишкоухова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с. 8. Holzbau Handbuch. Reihe 2 Tragwerksplanung. Teil 2 Verbindungsmittel. Folge 1 Verbindungen nach DIN 1052, nach DIN 18800. Prof. Erich Milbrandt.-Erscheinungsjahr 1990. Unverand. Nachdruck 10/95. – 59s. 9. Scheer C., Wagner C.: Rontgenuntersuchungen an Nageln, Klammern und Schtabdubeln in Holz und Holzwerkstoffen. In: Bautechnik. Berlin: W/Ernst & Sohn, Verlag für Architektur technische Wissenschaften, 57 (1980), S.88–93. 10. Стальные складчатые конструкции в строительстве/ Я. Брудка, Р. Гарнцарек, К. Милачевски; Пер.с польс. Л.Б. Шарина. – К.: Будівельник, 1989. – 152 с. 11. Брудка Я., Любиньски М. Легкие стальные конструкции: Пер.с польс. – М.: Стройиздат, 1974. – 341 с. 12. Металлические конструкции. Обиций курс: Учебник для вузов/ Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Веденников и др.; Под общ. ред. Е.И. Беленя. – 6-е изд., перераб.и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с. 13. Муханов К.К. Металлические конструкции – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1978. – 576 с. 14. Повышение эффективности металлических и деревопластмассовых конструкций/ Под ред. М.М. Жербина. – К.: Будівельник, 1978. – 144 с.