

УДК 624.014.2

О.В. Петренко, М.В. Гоголь, Б.З. Парнета  
Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра БВ

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СТАЛЕВИХ ЗГИНАНИХ І СТИСНУТИХ ТОНКОСТІННИХ ХОЛОДНОГНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

© Петренко О.В., Гоголь М.В., Парнета Б.З., 2002

**У статті розглянуто можливість підвищення ефективності роботи стиснутих і згинаних сталевих тонкостінних холодногнутих елементів шляхом використання сумісної роботи сталевих елементів з плитною неметалевою обшивкою у складі комплексних каркасно-обшивних конструкцій.**

Питання підвищення ефективності сталевих конструкцій у промисловому та цивільному будівництві є особливо актуальними для країн з інтенсивним розвитком будівельної індустрії, таких як Польща, Україна, Словаччина. Великий інтерес можуть становити конструктивні та технологічні вирішення будинків у подібних для цих країн сейсмічних умовах Карпат.

Дослідження роботи сталевих тонкостінних холодногнутих елементів вперше опубліковані у працях Вагнера та Тимошенка. Теорія тонкостінних стрижнів була сформована завдяки роботам Власова та Уманського. Питанням роботи тонкостінних стрижнів присвячені праці багатьох всесвітньо відомих науковців. Серед них чимало польських та українських дослідників. Великий внесок у розвиток теорії тонкостінних стрижнів зробили Безухов, Гвоздев, Ільюшин, Бичков, Налешкевич, Хвалла, Рутецкі, Бжоскі, Мутермільх.

Питанням теоретичного і експериментального дослідження конструкцій з тонкостінних стрижнів у пружній стадії присвячені роботи Горбунова, Стрельбицької, Чудновського та ін.

Проблемами закритичної несучої здатності тонкостінних балок займались Карман, Шехлер, Донел, Маргер, Шуман, Бак, Вольмир, Хеймерл, Чілвер, Нідхем, Вінтер, Міллер, Брудка, Коваль, Терешковський та ін.

Значний внесок у дослідження роботи тонкостінних конструкцій внесли Геммерлінг, Уманський, Голенко. Питаннями сумісної роботи сталевих елементів з неметалевими займались Лубінські, Жолтовські, Манько та ін.

Аналіз світової практики застосування сталевих тонкостінних холодногнутих елементів (ТГЕ) [1, 5, 6] показує, що конструкції з їх використанням завдяки своїм високим техніко-економічним показникам набули широкого застосування в будівництві та реконструкції промислових та цивільних будинків. Серед переваг ТГЕ над традиційними прокатними та зварними профілями є простота і зручність у виготовленні і монтажі, мала маса, низька вартість конструкції “в ділі”, що пояснюється незначними капіталовкладеннями у виробництво таких елементів, швидкістю зведення будинків з їх використанням. У згинаних конструкціях громадських і житлових будинків гнуті елементи здебільшого використовуються як огорожуючі конструкції, а також як несучі елементи (каркас) у складі каркасно-обшивних конструкцій. Обшивкою для каркасно-обшивних конструкцій служать плитні неметалеві матеріали: ДСП, бакелізована фанера, азбоцементні листи, гіпсокартонні листи тощо. Для несучих елементів каркасно-обшивних конструкцій доцільно

використовувати профілі, виготовлені з одного листа заготовки. Серед них найповніше відповідають технологічним, конструктивним та експлуатаційним вимогам елементи С-подібного поперечного перерізу. Прикладами застосування несучих тонкостінних елементів в конструкціях каркасно-обшивного типу можуть служити системи малоповерхового будівництва Am-Tech (США, Польща), Rannila (Фінляндія), Zibau, Stahlwerke Peine-Sazgitter AG (Німеччина), Morteo Soprefin, Seco (Італія), IBSE, Nail-Web, Poutrespase (Франція), Commercial HY Hydraulics (Люксембург), Danich Construction Co (Данія) тощо.

Недоліками конструкцій з використанням ТГЕ є необхідність влаштування ефективного протикорозійного захисту та необхідність забезпечення спеціальних умов зберігання, транспортування і монтажу.

Вивчення особливостей розрахунку сталевих тонкостінних стрижнів показало, що методи їх розрахунку розвиваються за двома напрямками.

- По-перше: вдосконалення методів визначення критичних напружень при втраті місцевої стійкості плоскої частини тонкостінного елемента; при цьому втрата місцевої стійкості вважається граничним станом – втратою несучої здатності елемента. Методи визначення критичних напружень базуються на принципах механіки тонкостінних стрижнів Власова, в якій гіпотезу плоских перерізів заміняють загальною гіпотезою жорсткого контуру.

- По-друге: визначення розподілу напружень у перерізах плоских частин тонкостінного елемента після втрати ними місцевої стійкості; вважають, що втрата місцевої стійкості не призводить до втрати несучої здатності тонкостінного елемента. Напівемпіричну теорію розрахунку пластин у закритичній стадії представляють базовий та вдосконалений методи Вінтера.

Порівняльний аналіз свідчить, що для сталевих елементів з товщиною листа заготовки 0,7–2,5 мм і циліндричною гнучкістю частин поперечного перерізу понад 150, метод розрахунку за теорією тонкостінних стрижнів Власова призводить до заниження розрахункової несучої здатності щодо фактичної. Теорія закритичної роботи в цьому випадку досконаліше описує дійсний напружено-деформований стан тонкостінних конструкцій і дає можливість повніше використати потенціал їх несучої здатності.

На основі досліджень, проведених на кафердрі Будівельного виробництва НУ “Львівська політехніка” [3], встановлено, що незважаючи на свої високі техніко-економічні характеристики, конструкції каркасно-обшивного типу мають значний резерв несучої здатності. Підвищити ефективність роботи згинаних сталевих ТГЕ можна:

- забезпеченням сумісної роботи несучих ТГЕ з обшивкою в конструкціях каркасно-обшивного типу при раціональному поєднанні механічних характеристик сталі і неметалевих матеріалів обшивки;

- проектуванням ефективних поперечних перерізів ТГЕ з врахуванням сумісної роботи з обшивкою та роботи сталевих елементів в закритичній стадії.

Визначення ступеня сумісної роботи проводили з врахуванням несучої здатності та податливості з’єднання обшивки з каркасом при роботі на зсув. Характеристикою податливості групи елементів з’єднання зсуву при визначенні згинального моменту  $M$  та поздовжніх сил  $N$  (формули (2), (3)) служить коефіцієнт жорсткості з’єднання  $\xi$  (формула (1) згідно з [7]).

$$\xi = \frac{N_1 m}{\Delta_n}, \quad (1)$$

де  $N_1$  – зсуваюче зусилля, що припадає на один елемент з'єднання,  $m$  – кількість елементів з'єднання,  $\Delta_{\Pi}$  – деформація взаємного зсуву суміжних волокон обшивки і елемента каркасу, з'єднаних зв'язками зсуву.

$$M = -\frac{\sum EI}{\xi \times c} \times T'' - \left( c - \frac{\sum EI \times \gamma}{c} \right) \times T; \quad (2)$$

$$N = \pm T; \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{1}{E_{\text{обш}} A_{\text{обш}}} + \frac{1}{E_c A_c}, \quad (4)$$

де  $c$  – відстань між центрами ваги обшивки і елемента каркасу,  $T$  – зсуваюче зусилля між обшивкою і елементом каркасу.

Теоретичні дослідження та експериментальні випробування зразків комплексних конструкцій каркасно-обшивного типу дозволили визначити вплив конструктивних особливостей на їх несучу здатність:

- завдяки сумісній роботі тонкостінних сталевих елементів з обшивкою, їх несуча здатність підвищується на 10–40 % (в окремих випадках до 80 %);
- гнучка стінка сталевих несучих елементів повинна бути посилена в опорній зоні для забезпечення стійкості і бокової незміщованості від дії опорної реакції;
- зменшити негативний вплив стисненого кручення, і пов'язаного з ним короблення відкритого перерізу сталевих елементів, можна встановленням сталевих елементів з почерговою зміною орієнтації відкритих перерізів і влаштуванням додаткових зв'язків по розтягнутих полицях; при цьому зусилля, що можуть спричинити короблення від стисненого кручення сталевих елементів відкритого перерізу, взаємно компенсуються.

Як показали результати випробувань, явище втрати місцевої стійкості стиснутої полиці сталевих елементів не означає, що несуча здатність такого елемента чи конструкції в цілому вичерпана, що підтверджує теоретичні дані [1]. Втрата місцевої стійкості призводить до підвищення деформативності сталевих елементів. Подальше зростання навантаження після втрати місцевої стійкості може призводити до руйнування стиснутої полиці внаслідок її випучування або наростання пластичних деформацій у частинах перерізу, які не втратили місцевої стійкості.

Результати випробувань також показали, що для уникнення втрати місцевої стійкості стиснутої полиці сталевих елементів недостатньо забезпечити її сумісну роботу з обшивкою. Проте експериментальні значення критичних напружень стиснутої полиці, при яких втрачається місцева стійкість, на 8–12 % вищі від визначених теоретично. Це явище підвищення рівня критичних напружень пояснюється частковим підкріпленням стиснутої полиці обшивкою.

Потрібно також відзначити, що позитивний ефект від сумісної роботи може зменшуватись через деякі конструктивні особливості комплексних конструкцій:

- Корозійні процеси в сталевому елементі, які відбуваються в місцях порушення проти-корозійного захисту при влаштуванні кріплення обшивки, є особливо небезпечними з огляду на тонкостінність сталевих елементів. Дослідження надійності роботи елементів з'єднання в агресивних середовищах [2] показують, що несуча здатність з'єднання в середовищах з різним ступенем агресивності може зменшуватись на 5–15 % залежно від типу з'єднання. Визначення зміни податливості з'єднань з часом в агресивних середовищах вимагає подальших теоретичних і експериментальних досліджень з використанням методики [2].

▪ Явище релаксації напружень в матеріалі обшивки і зміна механічних характеристик з часом можуть призводити до збільшення прогинів комплексних конструкцій. Релаксацію напружень та зміну з часом механічних характеристик матеріалу обшивки можна враховувати, застосовуючи в розрахунку комплексних конструкцій механічні характеристики матеріалу обшивки при довготривалому навантаженні [4], які нижчі від короткочасних на 10–20 % залежно від матеріалу.

Результати визначених експериментально прогинів, а також розподіл напружень у поперечному перерізі, відрізняються від обчислених теоретично не більше ніж на 10 %. Це характеризує правильність теоретичних допущень та підтверджує достовірність експериментальних даних.

В цілому, врахування позитивного ефекту сумісної роботи сталевих елементів з обшивкою в каркасно-обшивних конструкціях дозволяє підвищити несучу здатність таких комплексних конструкцій на 10–20 %, в окремих випадках до 30 %.

Для стиснутих конструкцій каркасно-обшивного типу позитивним ефектом сумісної роботи тонкостінного сталевго елемента каркасу та неметалевої обшивки є підвищення стійкості елемента каркасу (в окремих випадках на 28–33 %). У випадку стиснутих конструкцій неметалева обшивка відіграє роль пружної в'язі від загальної втрати стійкості. Роль обшивки у включенні в сумісну роботу і сприйнятті стискаючих навантажень є значно меншою, ніж роль стиснутої обшивки у згинаних каркасно-обшивних конструкціях. Проте, ефект сумісної роботи дозволяє проектувати економічніші поперечні перерізи, у яких співвідношення геометричних характеристик визначено з врахуванням впливу неметалевої обшивки.

1. Брудка Я., Любиньски М. *Легкие стальные конструкции*. – М., 1974. – 341 с.  
 2. Галактионов А.В. *Обеспечение технологичности и долговечности ограждающих конструкций покрытий промышленных зданий при реконструкции: Дис. ...канд. техн. наук*. – Макеевка, 1996. – 242 с. – Машинопись.  
 3. Гоголь М.В., Петренко О.В. *Підвищення ефективності роботи сталевих тонкостінних холодногнутих елементів в конструкціях цивільних будинків // Вісн. ДУ "Львівська політехніка"*. – 1999. – № 354. – С. 45–55.  
 4. Зубарев Г.Н., Лялин И.М. *Конструкции из дерева и пластмасс*. – М., 1980. – 311 с.  
 5. Меерсон Б.М. *Легкие конструкции комплектной поставки полноборных общественных зданий*. – М., 1986.  
 6. *Повышение эффективности металлических и дерево-пластмассовых конструкций / Под ред. М.М. Жербина*. – К., 1978. – 144 с.  
 7. Ржаницын А.Р. *Составные стержни и пластинки*. – М., 1986. – 316 с.