

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Білик А.С., Аналітичне моделювання функції маси сталевих конструкцій при виборі оптимальних конструктивних рішень сталевих ферм//Зб. доп. V міжн. наук.-техн. конф. “Буд.мет.к-ції: сьогодення та персп.розвитку”, – К:«Сталь», 2006. - 664с.
2. Білик А.С. Оптимальне проектування сталевих стержневих конструкцій із замкнених профілів // Тези доповідей наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів КНУБА – Київ: КНУБА, 2007
3. Білик А.С. Вибір оптимальних конструктивних рішень при аналізі якісних умов проектування// «Будівельні конструкції», зб. наук. праць, вип.63 – Київ, НДІБК, 2005. – С.335-340
4. Білик А.С., Пермяков В.О. Експертне моделювання вибору оптимальних рішень плоских сталевих зварних конструкцій// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди/Зб.наук.праць,Вип.16,Ч.2., Рівне, 2008. С.295-302;
5. Вальд А. Последовательный анализ. – М., Физматгиз, 1960.-328с
6. Виноградов А.И. Подмножества допустимых решений в теории оптимальных стержневых систем. Исследования по теории сооружений, вып.XVI, М.,Стройиздат.,1968
7. ЕНиР на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Конструкции зданий и промышленных сооружений. Введ. 18.12.90 - М.: Госстрой СССР, 1990
8. Лившиц В.Н. Выбор оптимальных решений в технико-экономических расчетах. – М., «Экономика», 1971.-255с
9. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация строительных конструкций – М.:Стройиздат, С.5
10. Многокритериальные задачи принятия решений/ред.Д.Гвишиани;АН СССР; ВНИИСИ – М.,Машиностроение, 1978.- 184с.
11. Пермяков В.А. Современное состояние проблемы оптимального проектирования стальных конструкций// Металеві конструкції, №1, 1998 – С.17-20
12. Сергеев Н.Д., Богатырев А.И. Проблемы оптимального проектирования конструкций. – Л.,Стройизат, 1971.-136с.
13. Чичинадзе В.К. Решение невыпуклых нелинейных задач оптимизации.– М.:Наука. Гл.ред.физ.-мат. лит., 1983. – 256с.
14. Шевченко Е.В. Совершенствование конструкций опор высоковольтных линий электропередачи и создание системы их автоматизированного оптимального проектирования. Автореферат дис... Докт. Техн. Наук. – Киев, 2000.
15. BS DD ENV 1993-1-1 :1992/A1 :1994.Eurocode 3 : Part 1-1: Annex K - Hollow section lattice girder connections
16. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of Joints. prEN 1993-1-8.
17. Klansek U., Kravanja S. Cost Optimal Design of Composite Floor Trusses//Design, fabrication and economy of welded structures. International Conference Proceedings, Horwood publ., Chichester,UK, 2008, P.451-458.

УДК 624.014

МЕТОДИКА ПЕРЕВІРКИ СТІЙКОСТІ СТАЛЕВИХ АРОК З ТОНКОСТІННИХ АРКОГОФРОПРОФІЛІВ

д.т.н., доц., Білик С.І., ас., асп. Куземко В.В.

Київський Національний Університет будівництва і архітектури, кафедра металевих і дерев'яних конструкцій

Постановка проблеми. Впровадження прогресивних сталевих конструкцій економічних будівель універсального призначення є актуальною і практичною науковою проблемою [1-4]. До таких економічних конструкцій відносять полегшені металеві аркові конструкції, у тому числі арок із тонкостінних аркових гофропрофілів [5].

Аналіз основних досліджень, публікацій і невирішених задач. В загальному плані стійкість аркових конструкцій досліджена в роботах [6-12].

Але існує практичні наукові задачі з узагальнення результатів цих досліджень і проведення нових пошуків при розрахунку на стійкість полегшених сталевих аркових конструкцій у складі каркасу будівлі та з тонкостінних профілів і гофропрофілів.

Постановка задачі. Розробити загальну методику перевірки стійкості полегшених сталевих аркових конструкцій із тонкостінних аркових гофропрофілів.

Виклад основного матеріалу досліджень. Розглянута подібна до півциркульної двошарнірна сталева арка із центром розташованим нижче лінії, яка з'єднує шарнірні опори арки. Радіус вигину, радіус окреслення арки (R) вираховується в залежності від прогину арки (L) та стріли аркової конструкції (висоти підйому) - f :

$$R^2 = \frac{l^2}{4} + (R - f)^2 = \frac{L^2}{4} + R^2 - 2Rf + f^2 \rightarrow R^2 = \frac{L^2}{4} + R^2 - 2Rf + f^2 \rightarrow R = \frac{L^2 + 4f^2}{8f} \quad (1)$$

В циркульних арках функція нейтральної осі арки побудована за колом: всі точки нейтральної осі арки рівновіддалені від центру на відстані рівному радіусу кола: $y^2 + x^2 = R^2$, або $y^2/R^2 + x^2/R^2 = 1$, де X, Y – поточні координати осі арки. У випадках коли центр кола розташовано нижче лінії, яка з'єднує опори арки, на відстані ($a_r = R - f$), а початок координат розташовано на лінії опор, рівняння кола має вигляд: $(y + a_r)^2 + x^2 = R^2$.

Довжина дуги піварки: $s = \pi R \alpha / 180^\circ$. Косинус кута розкриття від центральної осі до опори $\cos \alpha = 1 - f / R$.

Розрахунок аркових конструкцій з полегшених сталевих конструкцій на стійкість за можливо виконувати за двома підходами. В основу обох підходів покладено такі положення: відсутня втрата місцевої стійкості окремих ділянок арок та окремих елементів, арка втрачає стійкість за кососиметричною (асиметричною) або симетричною формою, місцева стійкість тонкостінного профілю забезпечена на ділянках розрахункового редукованого перерізу. За

першим підходом у арковій конструкції виділяють піварку, і перевіряють такий елемент на стійкість, як стиснуто-зігнутого тонкостінного профілю. Умовно при такому підході за можливо скористатися формулою будівельних норм з проектування сталевих конструкцій (СНиП II-23-81* “Стальные конструкции”) з урахуванням того, що площа перерізу є редукованою з урахуванням виключення з розрахунку окремих ділянок перерізу:

$$N_p \leq \varphi_e A_{eff} R_y \gamma_c, \quad (2)$$

де N – поздовжня стискуюча сила, A_{eff} – розрахункова редукована площа перерізу тонкостінного профілю, R_y – розрахунковий опір сталі на стиск за значенням межі текучості, γ_c – коефіцієнт умов роботи, φ_e – коефіцієнт для перевірки стійкості позцентрово-стиснутого стержня в залежності від умовної зведеної гнучкості піварки: $\bar{\lambda} = \lambda_{xef} \sqrt{R_y / E}$ та відносного ексцентриситету. Відносний ексцентриситет: $m_x = M_x A_{eff} / (N W_{xeff1})$, де W_{eff1} – момент опору перерізу редукованого перерізу стиснутої полиці, M_x – розрахунковий згинальний момент.

Зведена гнучкість тонкостінного профілю при можливості втрати місцевої стійкості окремих ділянок перерізу буде залежити від загальної гнучкості піварки (λ_x) та деформації зсуву перерізу: $\gamma = KQ / GA_{eff}$, де Q – поперечна сила, що діє в перерізі, G – модуль зсуву, A – розрахункова редукована площа перерізу тонкостінного профілю, K – коефіцієнт, що залежить від форми та товщини тонкостінного профілю, визначається теоретичним або експериментальним шляхом. За аналогією [6,7] критична сила стрижня з урахуванням деформації зсуву перерізу буде мати вигляд:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{xeff}}{\mu_x^2 s^2} \left(1 + \frac{\pi^2 EI_{xeff}}{\mu_x^2 s^2} \frac{K}{GA_{eff}}\right)^{-1}, \quad (3)$$

де s – довжина піварки; μ_x – коефіцієнт розрахункової довжини, для даної геометрії арки, i_{xeff} – радіус інерції редукованого перерізу.

Гнучкість піварки буде залежити від геометричних характеристик перерізу, довжини та граничних умов закріплення:

$$\lambda_x = \frac{\mu_x s}{i_{xeff}} \rightarrow \lambda_x^2 = \frac{\mu_x^2 s^2}{i_{xeff}^2} \rightarrow \lambda_x^2 = \frac{\mu_x^2 s^2 A_{eff}}{I_{xeff}}. \quad (4)$$

Підстановка відношення (4) до рівняння (3) дає такий вираз критичного навантаження.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EA_{eff}}{\lambda_x^2 \left(1 + \frac{\pi^2 EK}{\lambda_x^2 G}\right)} \rightarrow N_{cr} = \frac{\pi^2 EA_{eff}}{(\lambda_x^2 + \pi^2 K \frac{E}{G})} \quad (5)$$

В окремих випадках краще перейти до кута зсуву перерізу профілю арки (γ_Q):

$$\gamma_Q \frac{A_{eff}}{Q} = \frac{K}{G}. \quad (6)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EA_{eff}}{(\lambda_x^2 + \pi^2 \gamma_Q \frac{EA_{eff}}{Q})}. \quad (7)$$

У випадку достатньо малої деформації зсуву перерізу критичне навантаження за Ейлеровським значенням буде мати відомий вигляд: $N_{cr} = \pi^2 EA / \lambda_x^2$. Таким чином, зведена гнучкість аркового профілю може бути обчислена за формулою:

$$\lambda_{xef}^2 = (\lambda_x^2 + \pi^2 \gamma_Q \frac{EA_{eff}}{Q}) \rightarrow \lambda_{xef} = \sqrt{\lambda_x^2 + \pi^2 \gamma_Q \frac{EA_{eff}}{Q}} \quad (8)$$

Другий метрологічний підхід перевірки стійкості арки може бути побудований за формулою Ясинського:

$$\frac{N_p}{\varphi A_{eff}} + \frac{M_x}{W_{xeff1}} \leq R_y \rightarrow \frac{N_p}{\varphi A_{eff} R_y} + \frac{M_x}{W_{xeff1} R_y} \leq 1. \quad (9)$$

Далі спрощення останнього виразу введені позначення: $M_d = M_{xmax}$ – максимальний згинальний момент, якому може чинити опір профіль при відсутності поздовжньої сили, а через $N_d = N_{max}$ – максимальне значення поздовжньої сили без урахування поздовжнього згину:

$$M_{xmax} / W_{xeff1} = R_y \quad N_{max} / A_{eff} = R_y. \quad (10)$$

Підстановка у відношень (10) у формулу (9) дає відношення.

$$\frac{N_p}{N_{max} \varphi} + \frac{M_x}{M_{xmax}} \leq 1. \quad (11)$$

Коефіцієнт поздовжнього згину є відношення критичних напружень до розрахункового опору сталі за границею текучості: $\varphi = N_{pcr} / (R_y A_{eff})$. За

формулою (7) це відношення приймає вигляд:

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A_{eff}} = \frac{\pi^2 E}{(\lambda_x^2 + \pi^2 \gamma_Q \frac{EA_{eff}}{Q})} \rightarrow \varphi = \frac{\sigma_{cr}}{R_y} = \frac{\pi^2}{(\lambda_x^2 + \pi^2 \gamma_Q \frac{EA_{eff}}{Q})} \frac{E}{R_y}. \quad (12)$$

Заміна у рівнянні (11) коефіцієнта поздовжнього згину за (12) приводить до розгорнутого рівняння стійкості арки:

$$\frac{N_p}{N_{\max}} \left(\frac{\lambda_x^2}{\pi^2} + \gamma_Q \frac{EA_{\text{eff}}}{Q} \right) \frac{R_y}{E} + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1 \rightarrow \frac{N_p}{N_{\max}} \frac{\lambda_x^2}{\pi^2} \left(1 + \gamma_Q \frac{\pi^2 EA_{\text{eff}}}{\lambda_x^2 Q} \right) \frac{R_y}{E} + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1. \quad (13)$$

Але за (10) $N_{\max} = R_y A_{\text{eff}}$, а критична сила без урахування деформації зсуву перерізу дорівнює: $N_{\text{crd}} = \pi^2 EA_{\text{eff}} / \lambda_x^2$, тоді останнє рівняння миттєво переходить до відношення.

$$\frac{N_p}{N_{\text{crd}}} \left(1 + \gamma_Q \frac{N_{\text{crd}}}{Q} \right) + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1. \quad (14)$$

В окремих випадках більш привабливим є розгорнутий вираз рівняння (14):

$$\frac{N_p}{N_{\max}} \frac{1}{\pi^2} \frac{\mu_x^2 s^2}{i_{\text{xeff}}^2} \left(1 + \gamma_Q \frac{\pi^2 EA_{\text{eff}} i_{\text{xeff}}^2}{\mu_x^2 s^2 Q} \right) \frac{R_y}{E} + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1. \quad (15)$$

Розрахунки показують, що два методологічні підходи є альтернативними, дають близькі оцінки несучої спроможності арки і більшу впевненість у прийнятті рішення щодо несучої спроможності аркової конструкції.

Висновки та перспективи. Розроблений методологічний підхід є універсальним і може бути використаний для перевірки стійкості наскрізних аркових сталевих конструкцій, так з (12) і (8) перейдемо до умовної зведеної гнучкості арки ($\bar{\lambda}_{\text{xeff}}$):

$$\varphi = \frac{\sigma_{\text{cr}}}{R_y} = \frac{\pi^2}{\lambda_{\text{xeff}}^2} \frac{E}{R_y}; \quad \bar{\lambda}_{\text{xeff}}^2 = \lambda_{\text{xeff}}^2 \frac{R_y}{E}; \quad \varphi = \frac{\pi^2}{\bar{\lambda}_{\text{xeff}}^2}.$$

$$\frac{N_p}{N_{\max}} \frac{\bar{\lambda}_{\text{xeff}}^2}{\pi^2} + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1.$$

Таким чином, отримані формули (12-15) слід використовувати при перевірці стійкості арок з гнучкістю піварки $\bar{\lambda}_{\text{xeff}} \geq \pi$. При умові $\bar{\lambda}_{\text{xeff}} < \pi$ перевірку стійкості рекомендується виконувати за формулами (2,9).

Основним напрямком розвитку методологічних підходів щодо перевірки стійкості аркових конструкцій є числові дослідження коефіцієнтів розрахункової довжини арок з урахуванням піддатливості опор при обпиранні арок на колони та напіврами, визначення оптимальної конструкції арки з урахуванням визначення редукованого перерізу в залежності від навантаження, а також експериментальне та теоретичне уточнення впливу деформації зсуву перерізу різних за формою тонкостінних профілів. Особливими науковими задачами є визначення впливу початкових недосконалостей геометрії абрису аркової конструкції та гнучкості арки на несучу спроможність.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

- Білик С. І. Рациональная форма геометричной схемы рамного каркаса з карнизними похилими елементами навколо функціонального об'єму / С. І. Білик // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвід. наук. зб. / МОН України, КНУБА. – К., 2004. – Вип. 74. – С. 228–235.

- Кузнецов В. В. Легкие металлические конструкции комплектной поставки, пути дальнейшего их совершенствования // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 1988. – № 7 – с. 14-15.
- Трофимов В. И., Каминский А. М. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений. Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.
- Беленя Е.И., Балдин В.А., Ведеников Г.С.. Металлические конструкции. / Под. общ. ред. Е.И. Беленя. - М.: Стройиздат, 1991. – 687 с.
- Еремеев П.Г., Киселев Д.Б., Арменский М.Ю., К проектированию бескаркасных конструкций арочных сводов из холодногнутых тонколистовых стальных профилей. // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2004. – № 7.
- Динник А.Н., Лесков В.Н. Повздовжній угин та його застосування в техніці. - Харків-Дніпропетровськ: Тех. видав, 1932 – 164 с.
- Ефимов А. С. К расчету больших прогибов и устойчивости пологих арок и стержней при локальных нагрузках. Исслед. по теор. пластин и оболочек, 1967, 5, 203–220.
- Смирнов А.Ф. Устойчивость и колебания сооружений. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 572 с.
- Снитко Н.К. Устойчивость стержневых систем в упруго-пластической стадии. – Л.: Стройиздат, 1968. – 248 с.
- Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. – М.: Наука, 1971. – 808 с.
- Александров А.В., Травуш В.И., Матвеев А.В. О расчете стержневых конструкций на устойчивость., «Промышленное и гражданское строительство».- М.: 2002, №3, с.16-19.
- Білик С.І. Методика розрахунку на стійкість сталевих рам із двотаврів зі змінною висотою стінки / С.І. Білик // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди / Зб. наук. праць / МОН України / НУВГП. – Рівне, 2008. – Вип. 16. – Ч.2. – С. 73-78.

УДК 691.3

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПЕСКА

д.т.н., проф. **Большаков В.И.***,

д.т.н. **Кириарский А.С.**, д.т.н. **Савицкий Н.В.***

фирма «Инжиниринг Доберсек ГмбХ»(Германия),

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

Аннотация.

Предложены инновационные технологии обогащения песка и гравия по крупности и плотности с применением грохотов, гидроциклонов, противоточных гидроклассификаторов и отсадочных машин. Обоснована целесообразность использования водно – шламовых схем с неглубоким осветлением слива без применения флокулянтов.

Актуальность проблематики и постановка задачи.

Песок и гравий относятся к числу полезных ископаемых, которые находят широкое применение в строительной промышленности, что ранее не