

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.014

РАЦІОНАЛЬНІ МІЖСЕКЦІЙНІ ВУЗЛОВІ З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛЕВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ БАШТ

А. С. Моргун, В. О. Попов, Н. М. Бриль, М. В. Маєвська, О. А. Тесля

У статті розглянуто чисельне моделювання напружено-деформованого стану міжсекційного вузлового з'єднання металеві башти з використанням сучасних програмних комплексів "Lira" та "Cosmos-Works" для раціоналізації конструкцій. Чисельними методами, реалізованими у програмному комплексі "Cosmos-Works", знайдено концентратори напружень цього з'єднання. Запропоновані практичні рекомендації для проектування і реконструкції вузлів.

В статье рассмотрено численное моделирование напряженно-деформированного состояния межсекционного соединения металлической башни с использованием современных программных комплексов "Lira" та "Cosmos-Works" для рационализации конструкций. Численными методами, реализованными в программном комплексе "Cosmos-Works", найдены концентраторы напряжений этого соединения. Предложены практические рекомендации для проектирования и реконструкции узлов.

In this article had been analyzed numerical modeling of connector stress-strain of state telecommunication tower which modern software systems "Lira" and "Cosmos-Works" to streamline designs. Methods implemented in the software complex "Cosmos-Works", found concentrators of this compound. Practical recommendations for projecting and renovations sites.

Вступ. Аналіз останніх досліджень

На сьогодні у зв'язку із поширенням мобільного зв'язку виникла гостра необхідність у проектуванні раціональних баштових споруд та шогл, як найбільш типових опорних систем, а також потреба у аналізі стану існуючих висотних споруд для оцінки їх довговічності та надійності. Проблемами удосконалення просторових металевих конструкцій займаються на Україні УкрНДІ "Проектстальконструкція", Дніпропетровський інститут ПСК, вузи КНУБА, ДНАБіА, Львівська Політехніка, ВНТУ, Рівненська академія будівництва та їх вчені С. І. Білик, В. О. Пермяков, О. О. Нілов, О. В. Шимановський, І. М. Лебедич, В. М. Гордєєв, О. І. Оглобля, А. В. Перельмутер, М. А. Микитаренко, О. І. Голоднов, В. А. Микитаренко, Є. М. Бабич та інші [6, 12, 16].

В процесі аналізу літературних джерел виявлено, що перед науковцями постає ряд невіршених і повністю недосліджених питань щодо раціонального і правильного конструювання башт та особливо їх вузлів, а саме:

- раціональне конструювання міжсекційних вузлів, виходячи з критерію мінімальних витрат металу;
- дослідження напружено-деформованого стану раціонального вузлового з'єднання
- визначення найбільш небезпечних ділянок та методів їх локалізації для з'єднань.

Постановка проблеми

Таким чином постає мета дослідження – на основі скінченно-елементного моделювання конкретної башти висотою 60 м виявити найбільш невідгудну щодо міцності і жорсткості комбінацію зовнішніх навантажень, виявити найбільш небезпечні щодо міцності та стійкості міжсекційні вузли та розробити методику оцінки їх надійності. Для цього необхідно виконати комплекс задач, наведених нижче.

- Виконати скінченно-елементне моделювання башти.
- Виявити найбільш невідгудну щодо міцності і жорсткості комбінацію зовнішніх навантажень.
- Підібрати перерізи елементів башти.

- Виконати розрахунок моделі стовбура башти.
- Виконати моделювання найбільш навантаженого міжсекційного вузлового з'єднання у програмному комплексі "Cosmos-Works".
- Виявити найбільш небезпечні ділянки у міжсекційному вузловому з'єднанні та розробити методику аналізу їх надійності.

Основна частина

Для аналізу вибрана башта висотою 60 м, пірамідальної форми, утворена чотирма ребрами – поясами змінного перерізу, які, в свою чергу, зв'язані розкідною системою. Всі елементи башти виконані з рівнополічних кутиків. Оскільки 90 % території України мають кліматичні характеристики, що не перевищують навантаження для 4 вітрового району та для 4 району товщини крижаної кірки, оберемо ці райони для пошуку внутрішніх зусиль у телекомунікаційній вежі, що виникають від вітрових, ожеледних та ожеледно-вітрових впливів. Виявлено найбільш не вигідну щодо міцності і жорсткості комбінацію зовнішніх навантажень – вітер на ребро в діагональному напрямку (дивись табл. 1 та рис. 1) :

Таблиця 1

Комбінації зовнішніх навантажень

Навантаження	Розрахункові комбінації навантаження			
	1 ^{основне}	2 ^{основне}	3 ^{основне}	4 ^{основне}
Власна вага	+	+	+	+
Вітер-грань	+	-	-	-
Вітер-ребро	-	+	-	-
Вітер-грань + ожеледь	-	-	+	-
Вітер-ребро + ожеледь	-	-	-	+

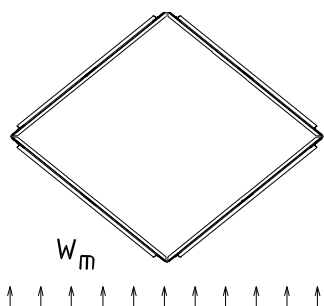


Рис. 1. Діагональний напрямок дії вітру на стовбур стрижневої телекомунікаційної башти

На основі скінченно-елементного моделювання отримано значення внутрішніх зусиль та деформації, які зображені на рис. 2.

Проаналізувавши результати можна зробити висновок, що найбільш завантаженою є приопорна частина вежі та міжсекційний вузол А, що стикає першу та другу секції.

Підбір перерізу елементів. Розглянемо два напружено-деформованих стани: розтяг та стиск, які виникають у конструкції під дією прямого та зворотного вітрового навантаження. Підбір перерізів елементів необхідно виконувати для найбільш завантаженого вузла – між першою та другою секцією (рис. 3).

Для вузла підібрано такі перерізи за методикою, викладеною у [4, п. 5.3, 7, 8]:

нижній пояс: L 200×200×14. Сталь С345($R_y=315$ МПа);

верхній пояс: L 200×200×12. Сталь С345($R_y=315$ МПа).

Характеристики кутиків:

└ 200×200×14: $A = 54,6\text{см}^2$; $I_{\min} = 861\text{см}^4$; $i_{\min} = 3,97\text{см}$;

└ 200×200×12: $A = 47,1\text{см}^2$; $I_{\min} = 749,4\text{см}^4$; $i_{\min} = 3,99\text{см}$;

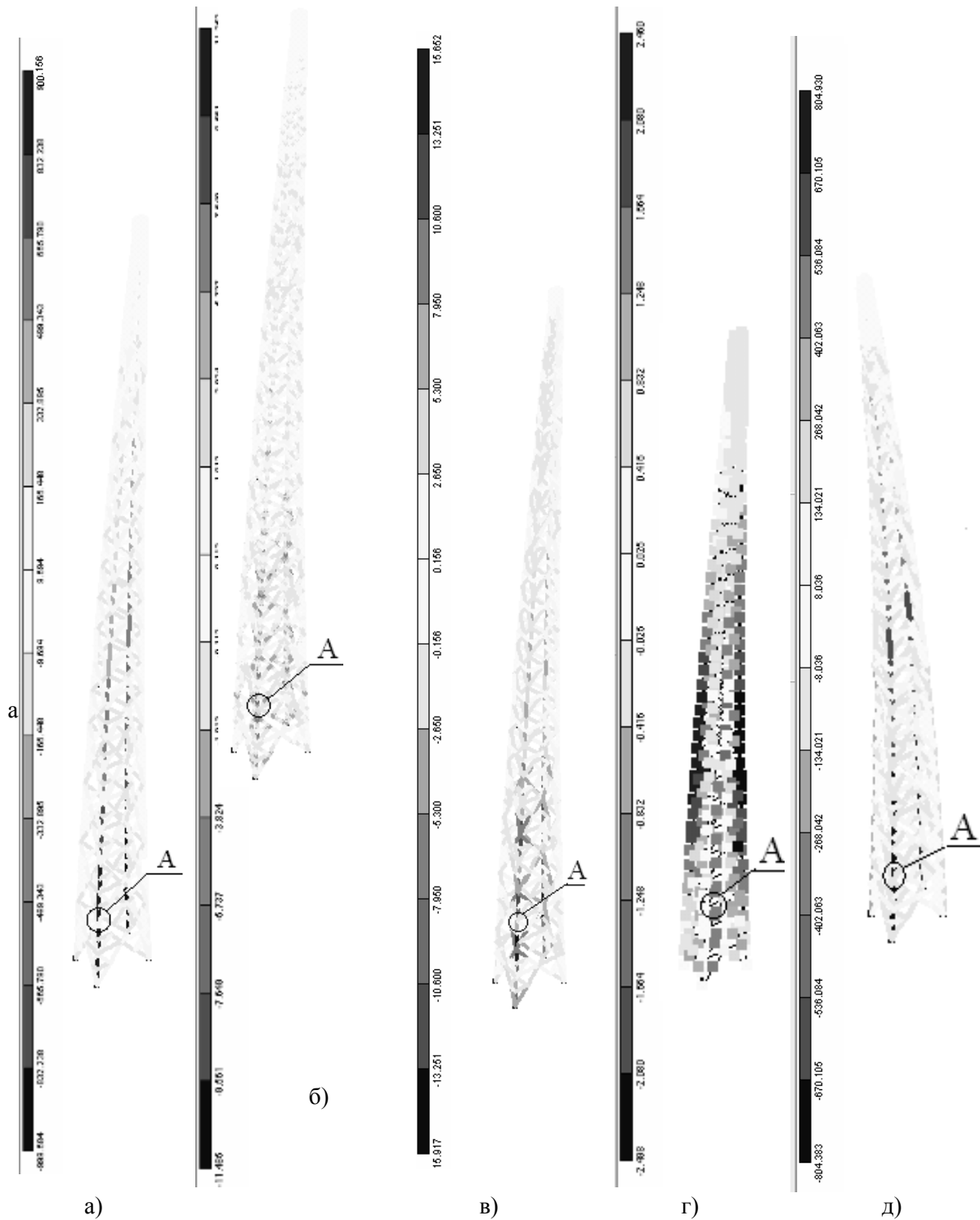


Рис. 2. Характеристики для розрахунку за першою групою граничних станів: а – повздовжні сили, б – згинальні моменти, в – поперечні сили. Характеристики для розрахунку за другою групою граничних станів: г – переміщення, д – частотні характеристики (друга форма коливань)

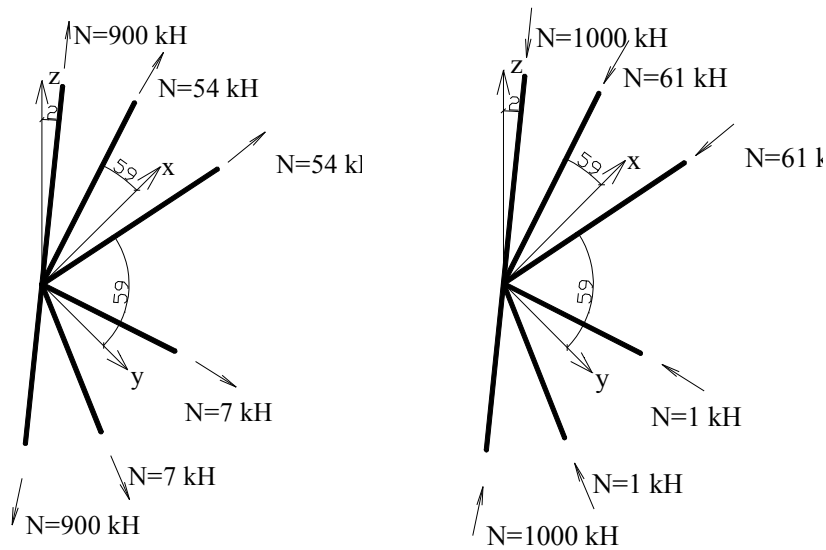


Рис. 3. Повздовжні сили у найбільш навантаженому вузлі: а – при розтягу, б – при стиску

Аналітичне моделювання стикового вузла, виконане згідно з вимогами [4] див. рис. 4:

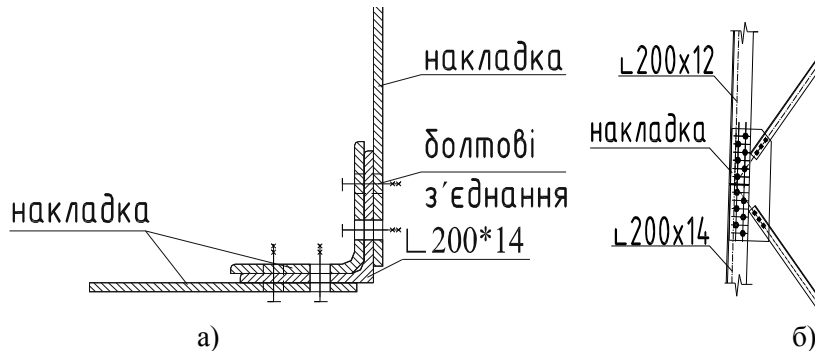


Рис. 4. З'єднання міжсекційного вузла на накладках: а – вигляд зверху, б – вигляд збоку

Верхній пояс запроєктовано у вигляді кутика $200 \times 200 \times 12$ мм, нижній – кутик $200 \times 200 \times 14$ мм, які з'єднані між собою накладками. Зовнішні накладки представляють собою дві пластини розміром 510×14 мм, внутрішня – це фрезерований кутик розміром $200 \times 200 \times 14$ мм. Кутики з накладками з'єднані за допомогою болтового з'єднання на звичайних болтах (рис. 4). Зусилля у розкосах на порядок менші від зусиль у поясах, тому у першому наближенні ними можна знехтувати.

Однак аналітична методика не дозволяє локалізувати концентратори напружень, вивчити їх природу та зменшити наслідки.

Пропонується доповнити їх високодеталізованим моделюванням на програмному комплексі "Cosmos-Works".

Моделювання міжсекційного вузлового з'єднання баштової споруди у програмному комплексі "Cosmos-Works"

У програмі "Cosmos-Works" був змодельований міжсекційний вузол телекомунікаційної башти висотою 60 м (рис. 5). Модель вузла змодельована з урахуванням піддатливості болтових з'єднань, піддатливості поясів, врахуванням ковзання елементів між накладками.

Розподіл напружень у вузлі довів наявність їх значної нерівномірності по робочих поверхнях. Найбільші напруження виникають в зонах крайньої пари болтів, найближчих до навантаження та в верхньому поясі на границі з накладками, що пов'язано із зазором між накладками та кутиком, оскільки товщина стінок кутиків верхнього і нижнього поясів різні. Напруження у даних зонах значно перевищують межу текучості, отже розвиток пластичних деформацій та втрата форми в даній області неминучі.

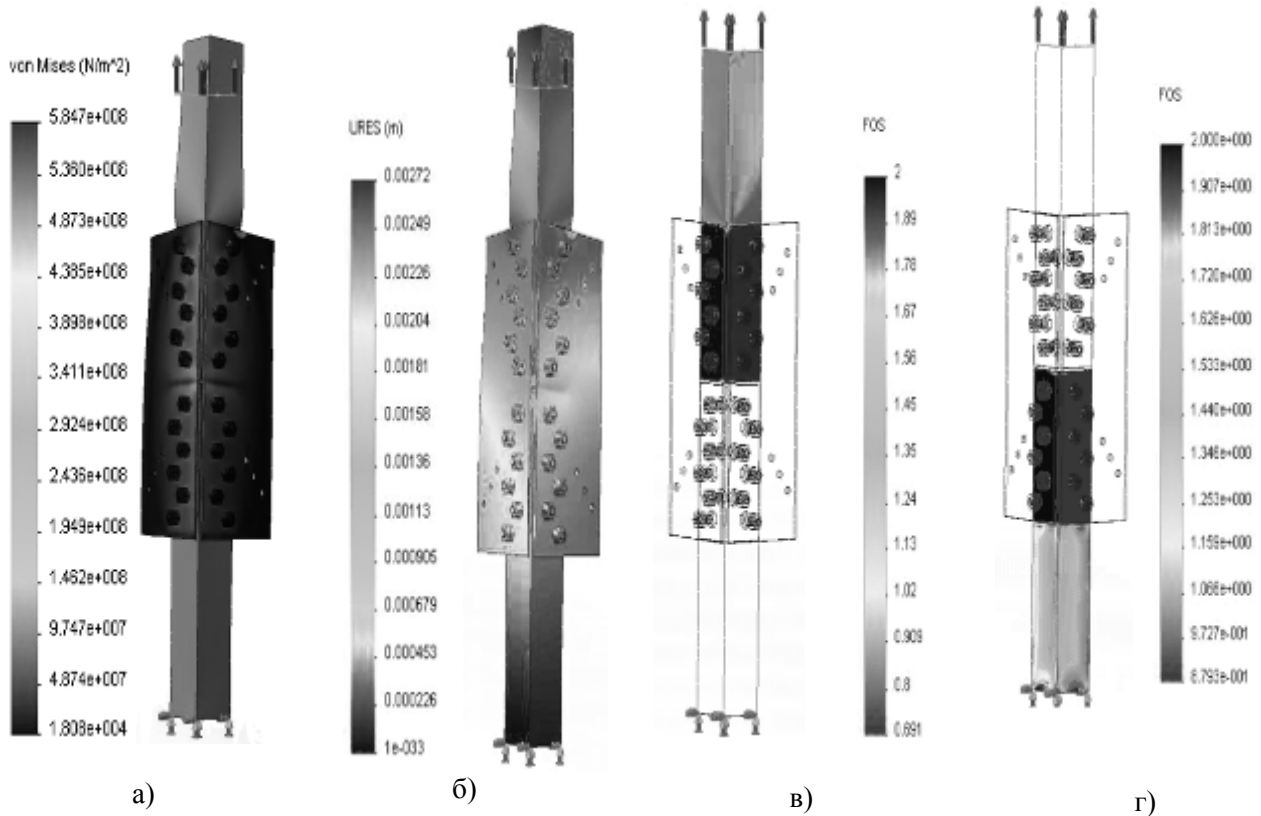


Рис. 5. Напружено-деформований стан міжсекційного вузлового з'єднання:
 а – напруження, б – переміщення, в – коефіцієнти запасу для верхнього поясу,
 г – коефіцієнти запасу для нижнього поясу

Верхній пояс, під дією розтягувальних зусиль, зазнає переміщень у порівнянні з початковим положенням. Найбільших переміщень зазнає зона на границі з накладками, яка вигинається назовні, що пов'язано з геометричною будовою елемента. На поясах безпосередньо під та над вузлом стикування виявлені осередки концентрації напружень, пов'язані з їх вигином. Переміщення від прикладеного навантаження незначні у порівнянні з розмірами кутика, тому ними у першому наближенні можна знехтувати (рис. 5б).

Найменші коефіцієнти запасу міцності спостерігаються на накладках вузла в зонах крайньої пари болтів, найближчих до навантаження та в верхньому поясі на границі з накладками, це свідчить про те, що метали у цій зоні неминуче зазнають пластичних деформацій (рис. 5г).

Висновки

Виходячи з результатів досліджень напружено-деформованого стану моделі башти в цілому та її найбільш навантаженого міжсекційного вузлового з'єднання можна зробити такі висновки:

- розроблена модель міжсекційного вузлового з'єднання високим ступенем деталізації засобами "Cosmos-Works" та виконаний аналіз його напружено-деформованого стану.
- запропоновані такі практичні рекомендації для проектування та реконструкції вузлів таких споруд:
- при огляді конструкцій в першу чергу потрібно звертати увагу саме на найбільш небезпечні області, у яких неминуче розвиваються пластичні деформації та втрати стійкості форми, а саме, на зони зазорів поблизу першої пари болтів, ближчої до навантаження у міжсекційному з'єднанні;
- при моделюванні враховувати реальні зазори та конструктивні особливості, що можуть суттєво вплинути на напружено-деформований стан;
- рекомендується встановлення прокладок з нержавіючої сталі для уникнення зазорів між болтами і перенапружень, що викликані цими зазорами.

Список літератури

1. Навантаження і впливи. Норми проектування. ДБН В.1.2-:2006. [На заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10)]. [Чинний від 2007-01-01] – К. : Мінбуд України, 2006. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. [На заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85]. [Чинний від 2007-01-01] – К. : Мінбуд України, 2006. – 10 с. – (Національний стандарт України).
3. Моделювання напружено-деформованого стану опорних фланцевих вузлів баштових споруд: стаття В. О. Попова, 2009. – 10с.
4. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-23-81* / Госстрой СССР. – Взамен СНиП II-В.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67. [Введ. 1982-01-01]. – М. : ЦИТП Госстроя СССР. 1991. – 96 с. – (Строительные нормы и правила).
5. Строительные нормы и правила. Сооружения промышленных предприятий. СНиП 2.09.03-85. – Взамен СНиП II-91-77, СН 302-65, СН 471-75. [Введ. 1987-01-01].– М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1986. – 58 с. – (Строительные нормы и правила).
6. Попов В. О. Безфундаментні башти-атракціони з високоточним стовбуром. Монографія. / В. О. Попов, І. П. Кондратенко, А. П. Щепкін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. - 208 с.
7. Металеві конструкції : підручник. Ч. 1 / [Свердлов В. Д., Середюк І. П., Середюк В. Ф., Жарко Л. О.] – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 263 с.
8. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев – К. : Наукова думка, 1975. – 705 с.
9. Строительная механика : учебник для вузов / под ред. А. В. Даркова. М., «Высшая школа», 1976. – 600 с.
10. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації. ДБН 362-93. – К.: Держ. Комітет України в справах архіт., буд-ва та охорони історик. Середовища, 1995. – 93 с. – (Державні будівельні норми України).
11. Металлические конструкции. В 3-х т. Т.3. Специальные конструкции и сооружения: Учебное пособие для строит. Вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров. В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. – М.:Высшая школа, 1999. – 554 с.
12. Металеві конструкції. Підручник. Частина 1 / В.Д. Свердлов, І.П. Середюк, В.Ф. Середюк, Л.О. Жарко. – Вінниця; УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. - 263 с.
13. Свердлов В.Д., Попов В.О. Металеві баштові споруди з високим ступенем співосності несучих елементів. Монографія. - Вінниця:УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 141 с.
14. Свердлов В. Д. Удосконалення вузлових з'єднань башт з високою ступінню совісності труб. Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Том 2. Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов, В. О. Попов – Вісник Донбаської державної академії будівництва та архітектури. – 2003. №2 (39). – С. 251-253.
15. Горев В.В. Металлические конструкции. В 3-х т. Т.3. Специальные конструкции и сооружения: Учебное пособие для строит. Вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров. В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. - М. :Высшая школа, 1999. – 554 с.
16. Бирюлев В.В. Проектирование металлических конструкций: Специальный курс: Учебник для вузов / В.В. Бирюлев, И.И. Крылов, А.В. Сильвестров. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.

Моргун Алла Серафимівна – проф., зав. кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Попов Володимир Олексійович – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Бриль Наталія Михайлівна – бакалавр будівництва, студентка Вінницького національного технічного університету.

Маєвська Марія Вікторівна – бакалавр будівництва, студентка Вінницького національного технічного університету.

Тесля Олександр Анатолійович – студент Вінницького національного технічного університету.