



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
METAL CONSTRUCTIONS**

№4, ТОМ 15 (2009) 227-236

УДК 624.014

(09)-0199-0

## **МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОПОРНИХ ФЛАНЦЕВИХ ВУЗЛІВ БАШТОВИХ СПОРУД ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

**В.О. Попов**

*Вінницький національний технічний університет,  
вул. Воїнів-інтернаціоналістів, 7, 21021, м. Вінниця, Україна.  
E-mail: xvivix@mail.ru*

*Отримана 29 вересня 2009; прийнята 26 листопада 2009*

**Анотація.** У статті розглянуто аналітичне та чисельне моделювання напружено-деформованого стану фланцевих вузлів металевих баштових споруд з використанням сучасних програмних комплексів "Lira 9.4" та "Cosmos-Works" для раціоналізації їх конструкцій. На прикладі реальної башти висотою 60 м виконано порівняння чисельних результатів, отриманих на "Lira 9.4" та "Cosmos-Works". Чисельними методами, реалізованими у програмному комплексі "Cosmos-Works", доведено, що врахування при моделюванні спільної роботи конструктивних елементів вузла, а також перерозподіл напружень, який виникає у зварних швах, дозволяє більш достовірно оцінити реальні напруження у фланці, що виявилися суттєво нижче оцінених аналітично, і, як наслідок, зменшити його товщину.

**Ключові слова:** баштові телекомунікаційні споруди, фланцеве з'єднання, напружено-деформований стан, еквівалентні напруження, раціональне проектування.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНЫХ ФЛАНЦЕВЫХ УЗЛОВ БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**В.О. Попов**

*Винницкий национальный технический университет,  
ул. Воинов-интернационалистов, 7, 21021, г. Винница, Украина.  
E-mail: xvivix@mail.ru*

*Получена 29 сентября 2009; принята 26 ноября 2009*

**Аннотация.** В статье рассматривается аналитическое и численное моделирование напряженно-деформированного состояния фланцевых узлов металлических башенных сооружений с использованием современных программных комплексов "Lira 9.4" и "Cosmos-Works" для рационализации их конструкций. На примере реальной башни высотой 60 м выполнено сравнение численных результатов, полученных на "Lira 9.4" и "Cosmos-Works". Численными методами, реализованными в программном комплексе "Cosmos-Works", доказано, что учет при моделировании совместной работы конструктивных элементов узла, а также перераспределение напряжений, возникающее в сварных швах, позволяет более достоверно оценить реальные напряжения во фланце, которые оказались существенно ниже оцененных аналитически, и, как следствие, существенно снизить его толщину.

**Ключевые слова:** башенные телекоммуникационные сооружения, фланцевое соединение, напряженно-деформированное состояние, эквивалентные напряжения, рациональное проектирование.

## MODELING OF A DEFLECTED MODE OF TOWER STRUCTURE BEARING FLANGES FOR AN INTELLIGENT DESIGN

V.O. Popov

Vinnitsa National Technical University,  
7, International Soldiers Str., Vinnitsa 21021, Ukraine  
E-mail: xvivix@mail.ru

Received 29 September 2009; accepted 26 November 2009

**Abstract.** There is considered an analytical and numerical modeling of a deflected mode of metallic tower structure bearing flanges with the use of the up-to-date program complexes "Lira 9.4" and "Cosmos-Works" to rationalize their design. A real tower as high as 60 m being taken as an example, numerical results obtained with the help of "Lira 9.4" and "Cosmos-Works" were compared. The numerical methods realized in the program complex "Cosmos-Works" prove that a joint work at modeling structural subunits as well as redistribution of stresses which occur in welded joints make it possible to reliably estimate real stresses in a flange which turned to be much lower than those estimated analytically, and, as a result, to considerably lower its thickness.

**Keywords:** tower telecommunications structures, flange joint, deflected mode, reduced stresses, intelligent design.

### Вступ

На даний момент у зв'язку із поширенням мобільного зв'язку виникла гостра необхідність у проектуванні раціональних баштових споруд та щогл, як найбільш типових опорних систем, а також потреба у аналізі стану існуючих висотних споруд для оцінки їх довговічності та надійності. Баштові телекомунікаційні опори отримали широке розповсюдження у Німеччині. В Україні, як і у переважній частині інших країн Європи, більш розповсюдженими є телекомунікаційні опори у вигляді щогл через суттєво меншу питому собівартість. Однак через необхідність набагато більшої площі забудови для щогл у порівнянні із баштами та дефіцитом земельних ресурсів, необхідністю періодичної ревізії відтяжок, доля баштових споруд поступово зростає.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні проектування висотних телекомунікаційних систем регламентоване стандартами [6, 7, 10, 11, 15-17, 19]. Пошукам методів розрахунку та питанням раціонального проектування баштових телекомунікаційних споруд як стрижневих систем приділяли і приділяють увагу відомі вчені та їх учні провідних вітчизняних

установ УкрНДІ "Проектстальконструкція" ім. В.М. Шимановського (м. Київ), Донбаської національної академії будівництва і архітектури (м. Макіївка), Придніпровської державної академії будівництва та архітектури (м. Дніпропетровськ) – І.М. Лебедич, Є.В. Горохов, А.В. Перельмутер, Є.В. Шевченко, М.П. Кондра, В.В. Кулябко [3, 5, 13, 21, 22]. Конструюванню раціональних фланцевих з'єднань присвячені праці В.І. Анур'єва, Б.Ю. Уварова, В.В. Філіппова, П.І. Орлова, О.О. Волошина [4, 8, 9, 12].

У наукових роботах, присвячених раціональному проектуванню баштових споруд, відзначається, що однією з важливих задач є оптимізація конструкцій роз'ємних з'єднань основних несучих елементів (поясів) стовбурів башт. Оскільки пояси переважної більшості вітчизняних телекомунікаційних башт виготовлені з кутників, стикування секцій по висоті вирішується простими, але ефективними накладками з кутників того ж профілю, що й пояси. Напружено-деформований стан таких з'єднань під навантаженням докладно описаний у [11, 15, 16]. Основна проблема виникає у складності моделювання вузлів з'єднання першої секції баштових споруд із фундаментами, оскільки складна багатокomпонентна система цих вузлів важко піддається як аналітичному, так і чисель-

ному аналізу, а неврахування реальних компонент конструкції може призвести до помилкових результатів. Розв'язок задачі раціоналізації вузла за критерієм мінімальних витрат металу можливий із використанням при моделюванні сучасних програмних комплексів, які реалізують метод скінченних елементів. У вітчизняній практиці такими програмними комплексами є "Lira-Windows", "SCAD 11", закордонна інженерія використовує програми сімейства "ANSYS", наприклад "Cosmos-Works" [1].

З огляду на вищезгадане важливим і актуальним є пошук раціональних конструктивних рішень фланцевих опорних з'єднань телекомунікаційних башт шляхом глибокої деталізації їх моделей чисельними методами.

### Постановка проблеми

Таким чином, на прикладі конкретної телекомунікаційної башти необхідно довести доцільність врахування всіх конструктивних елементів опорного вузла, а також особливостей характеру їх приєднання один до одного при моделюванні напружено-деформованого стану для раціонального проектування.

### Основна частина

Башта, що розглядається в якості прикладу, висотою 60 м, пірамідальної форми, утворена чотирма ребрами – поясами змінного перерізу, які, в свою чергу, зв'язані розкисною системою. Всі елементи башти виконані з рівнополічних кутників за ДСТУ 2251-93. Конструктивне рішення телекомунікаційної башти, робочі креслення основних її елементів, величини зусиль в них визначено у проекті [23]. Об'єктом моделювання є опорний вузол, що складається з опорного фланця, приєднаного до поясу з допомогою зварювання і трьох ребер жорсткості (рис. 1). Опорний фланець, в свою чергу, з'єднується із анкерними болтами фундаментів через накладні шайби та гайки. Перерізи анкерних болтів та поясів визначено за граничними станами у [23]. Для спрощення матеріалом всіх елементів опорного вузла прийнята сталь С235. Розрахункові еквівалентні напруження у фланці не повинні перевищувати величини  $R_y = 220 \text{ МПа}$ .

Виконаємо аналітичне моделювання та підбір раціональних геометричних параметрів опорного фланця методами класичної будівельної механіки та опору матеріалів у статичній постановці. Для цього розглянемо пластинчастий фрагмент фланця, обмежений пір'ями кутника та ребрами жорсткості. При цьому доцільно для спрощення розрахунку розглянути дію на фрагмент зусилля у анкерному болті, вважаючи його защемленим по контуру примикання до кутника та ребер жорсткості. В першому наближенні можна вважати, що на внутрішні напруження, що виникають у фрагменті фланця, не впливає потовщення, яке виникає через наявність накладних шайб та системи гайок. Оскільки 1/5 ширини фрагменту фланця (пластини)  $> 50$  мм, а товщина фланця, виходячи з інженерного досвіду, для таких башт не більша за 50 мм, можна вважати, що даний фрагмент – тонка пластина [14]. Для плоского напружено-деформованого стану справедливими є закономірності (1, 2):

$$\varepsilon_x = (\sigma_x - \mu \cdot \sigma_y) / E; \varepsilon_y = (\sigma_y - \mu \cdot \sigma_x) / E, (1)$$

$$\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 z}{\partial y^4} = \frac{p}{D}, (2)$$

$$\frac{\partial^4 \sigma}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \sigma}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \sigma}{\partial y^4} = 0, (3)$$

де  $D = E \cdot \Delta^3 / (12 - \mu^2)$  – циліндрична жорсткість пластини,  $z = z(x, y)$  – функція прогину осьової лінії пластини,  $\sigma = \sigma(x, y)$  – функція напружень,  $p$  – функція силового впливу (тиску) на пластину.

За [23] на анкерні болти найбільш завантаженого поясу башти передається зусилля розтягу  $N_y = 669,3 \text{ кН}$ . Відповідно, виходячи з припущення про рівномірність розподілу даного зусилля між болтами, у кожному з 3-х болтів опорного фланця діє сила  $N_1 = N_y / 3 = 223,1 \text{ кН}$ . Оскільки за [14] при прикладанні зосередженої сили до пластини при розв'язку диференціального рівняння отримуємо нескінченно великі згинальні моменти, доцільно розглядати зосереджену силу  $N_1$  як рівномірно розподілену по площі діаметром 70 мм.  $p_1 = N_1 / A_1 = 223,1 \times 4 / (\pi \cdot 0,07^2) = 58 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Граничними умовами для рішення даної задачі буде  $z(X=0) = z(y=0) = 0$

та  $\varphi(X=0)=\theta(y=0)=0$ , де  $\varphi, \theta$  – кути повороту осі пластини від горизонталі. Спільний розв'язок рівнянь (1), (2) та (3) доцільно вести одним з наближених методів, наприклад, методом скінченних різниць. Результати розв'язку при  $\Delta=30\text{ мм}$  та кроці триангуляції  $h=30\text{ мм}$  зведені у таблиці 1. Виявлено, що найбільші напруження зосереджені в другій половині ділянок жорсткого обпирання пластини та поблизу отвору, в зоні, що орієнтована до вільного кута пластини.

Виконаємо чисельне моделювання даного опорного вузла на програмних комплексах "Lira 9.4" та "Cosmos-Works" за геометричними співвідношеннями, підібраними при аналітичному моделюванні. Результати чисельного розрахунку на програмі "Lira 9.4" приведено на рис. 3. Модель опорного вузлового з'єднання у програмному комплексі "Lira 9.4" виконана з пластинчастих скінченних елементів.

З рис. 3б видно, що за моделюванням на програмному комплексі "Lira 9.4" концентрація напружень в опорному фланці зосереджена поблизу середини пера кутника та поблизу розподільчих шайб. Стріла вигину фланця по осі  $Oz$  спостерігається поблизу вільних кромek ребер жорсткості та не перевищує 0,126 мм.

Модель вузлового з'єднання, розроблена у програмах "Solid-Works" та "Cosmos-Works" зображена на рис. 4 (~ 40 тис. об'ємних тетраедричних скінченних елементів). Для створення розрахункової схеми введено наступні обмеження та узагальнення, що є достатньо загальними для моделювання будівельних конструкцій. Тіло елементів з'єднання утворюється об'ємними тетраедричними елементами, з'єднаними гранями. З'єднання з допомогою зварювання рівномірно з іншими елементами вузла. Зв'язки, що забороняють переміщення у

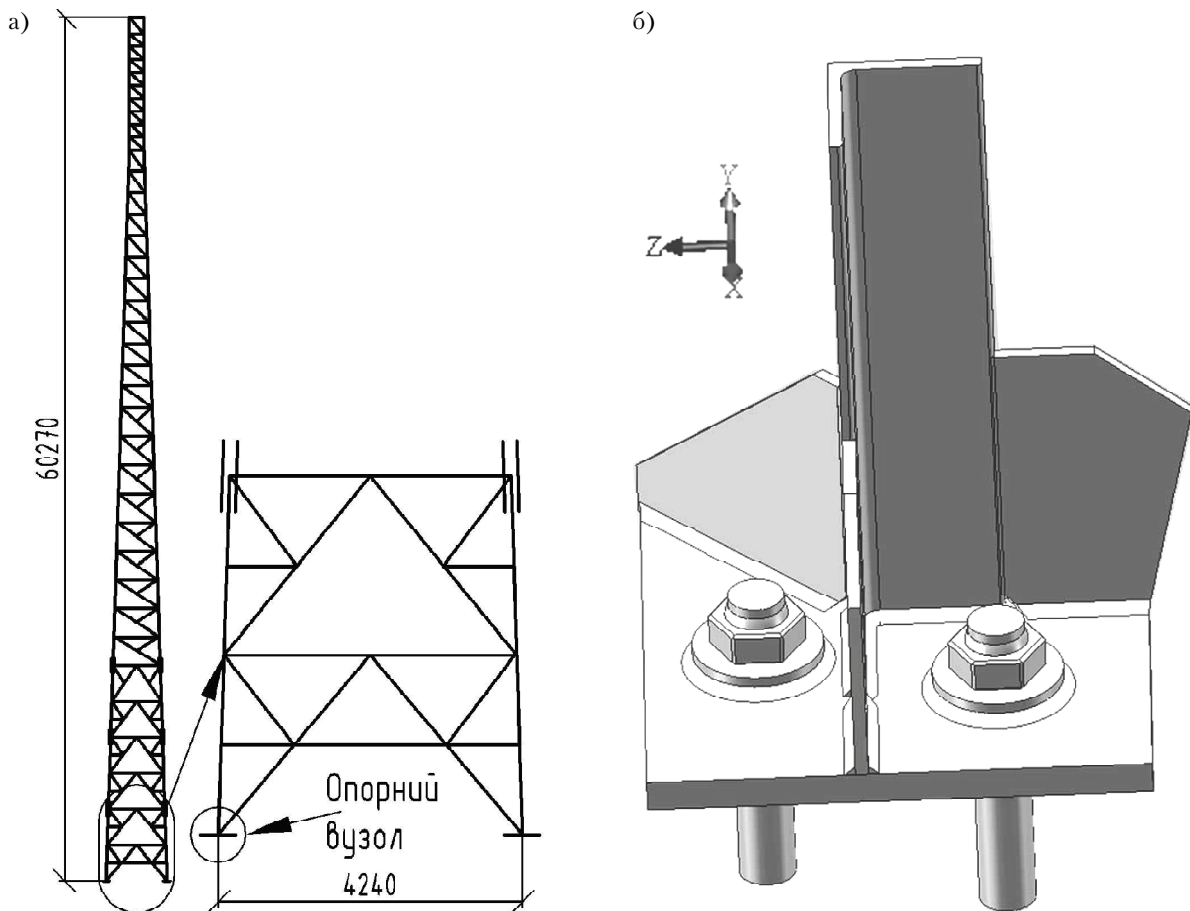
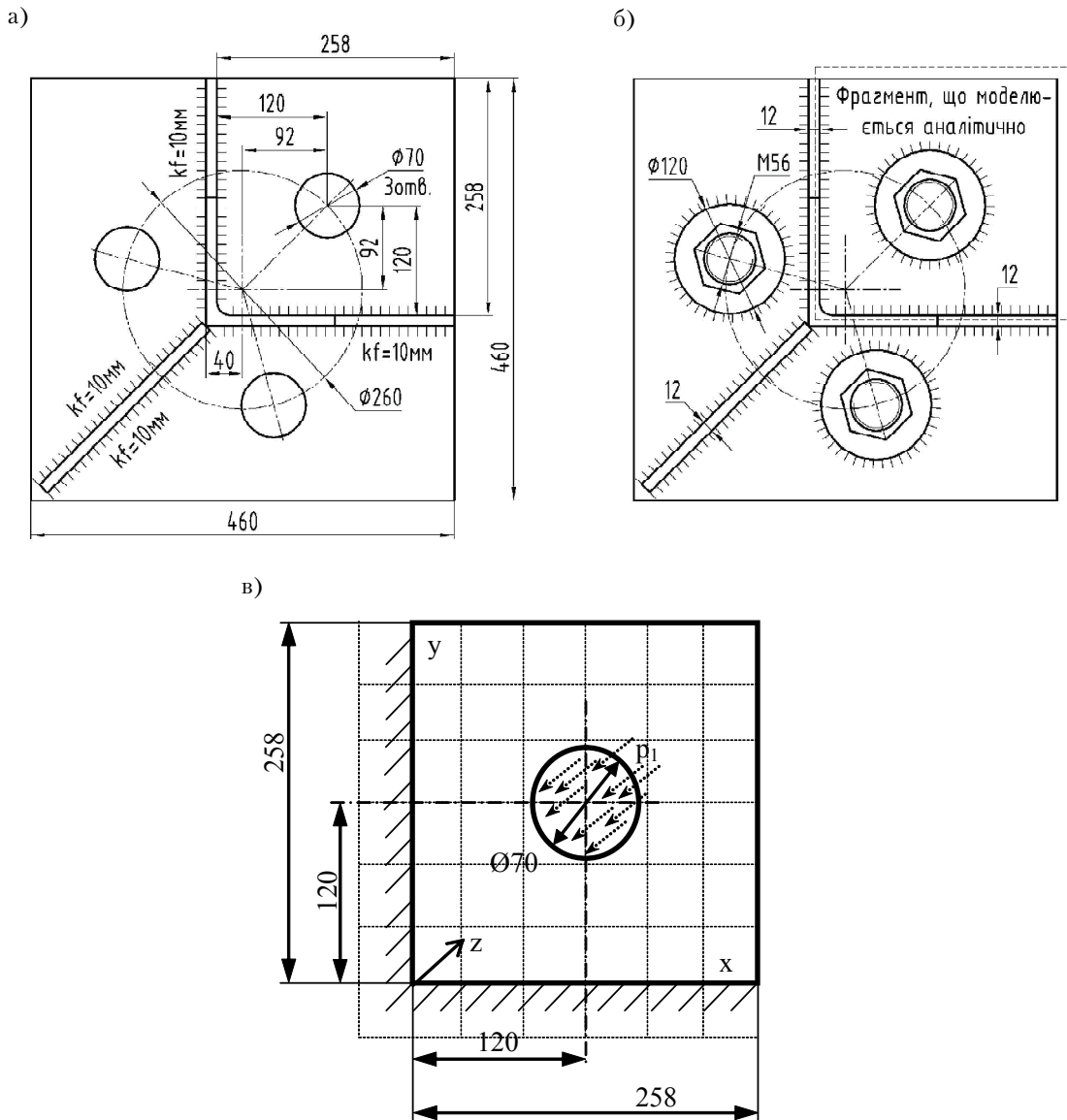


Рис. 1. Опорний вузол: а – схема розташування; б – конструктивне рішення.



**Рис. 2.** Вид згори опорного вузла: а – креслення на момент виготовлення; б – після монтажу із встановленими шайбами та гайками; в – розрахункова схема фрагменту із триангуляційною сіткою, що враховує законтурні точки.

всіх напрямках, накладені на різьбову частину гайок. Гайки зчіплюються з шайбами по поверхні контакту – ортогонально поверхні – силами попереднього натягу, у площині поверхні – силами тертя, що визначаються "Cosmos-Works" автоматично. Через наявність проварювання металу контактні поверхні поясів та ребер жорсткості зчіплюються між собою та до фланця. Шайби з'єднуються із фланцем зварними швами.

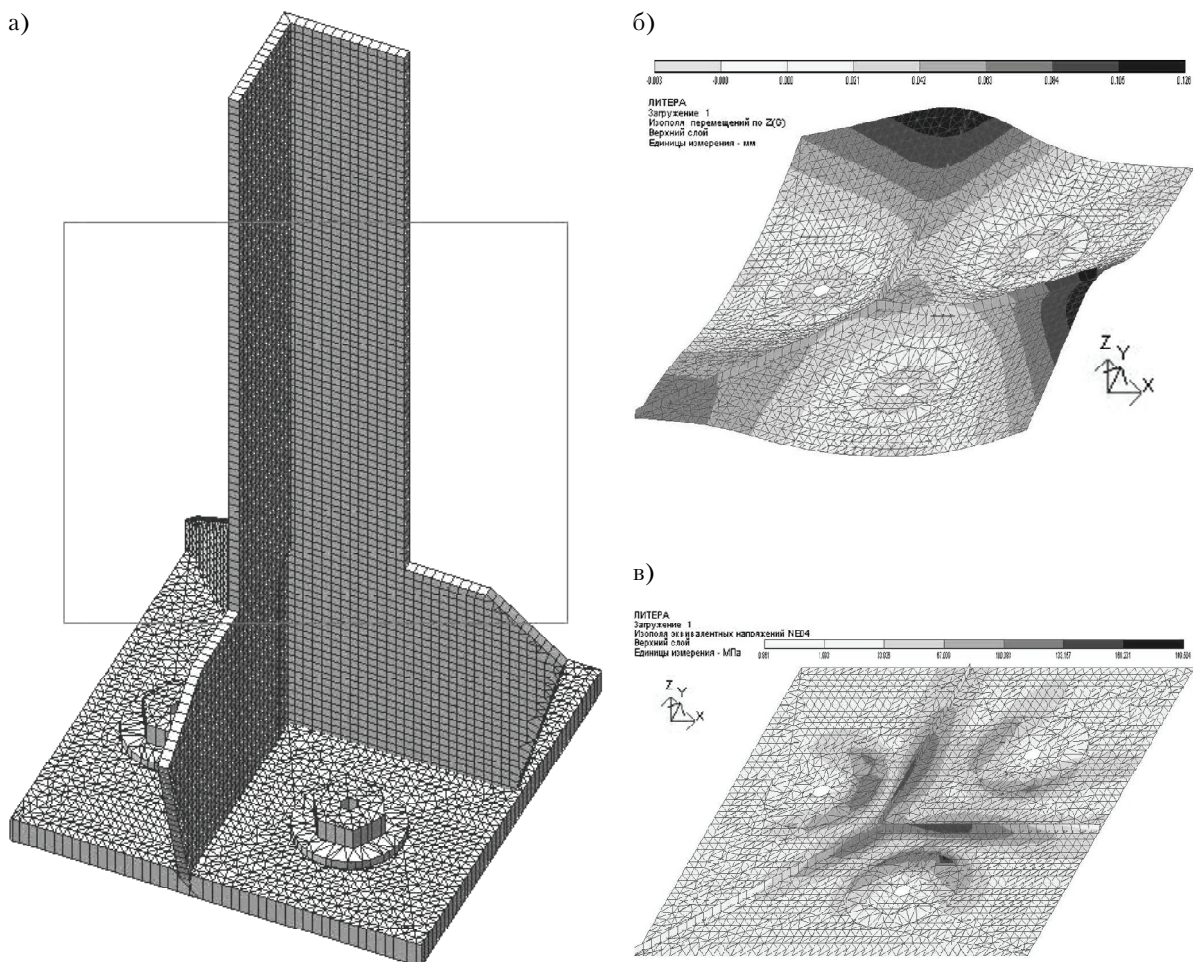
Зведені результати розрахунку аналітичними методами будівельної механіки та результати моделювання на вищезгаданих програмних комплексах показані у табл. 1.

Аналізуючи ізополя еквівалентних напружень та деформації моделей по осі Oz (рис. 3...6, табл. 1), можна зробити наступні висновки.

1. Розподіл еквівалентних напружень за "Cosmos-Works" та "Lira 9.4" по нижніх волокнах фланця ідентичний (концентрації

- напружень спостерігаються поблизу пера кутника). Незначна відмінність, що виявлена поблизу розподільчих шайб, де за "Lira 9.4" спостерігаються екстремуми напружень, а за "Cosmos-Works" концентратори відсутні.
2. Розподіл еквівалентних напружень в верхніх волокнах фланця відрізняється тим, що безпосередньо під кутником поясу та розкріплюючими ребрами жорсткості за "Cosmos-Works" напруження незначні, в той же час, як за "Lira 9.4" там спостерігаються найвищі напруження. Моделювання на "Cosmos-Works" більш реально віддзеркалює передачу напружень через зварні шви, де і спостерігаються сплески напружень.

3. Чисельні результати, отримані за скінченно-елементними моделями, відрізняються по напруженнях поблизу кутника в межах 8%, а по деформаціях - в межах 30%, що свідчить про їх достовірність. Аналітичний розрахунок через низький ступінь деталізації дає суттєво вищі напруження (на 60%) та деформації (на 200%).
4. Найнижчі напруження та найменші деформації отримано методом скінченних елементів на "Cosmos-Works", де враховано із високим ступенем деталізації всі конструктивні елементи з'єднання, що свідчить про доцільність високодеталізованого моделювання.



**Рис. 3.** Чисельне моделювання газгольдера на програмі "Lira 9.4": а – модель у розрахунковому процесорі; б – деформації по Oz; в – еквівалентні напруження за енергетичною теорією Губера-Хенкі-Мізеса у верхніх волокнах фланця.

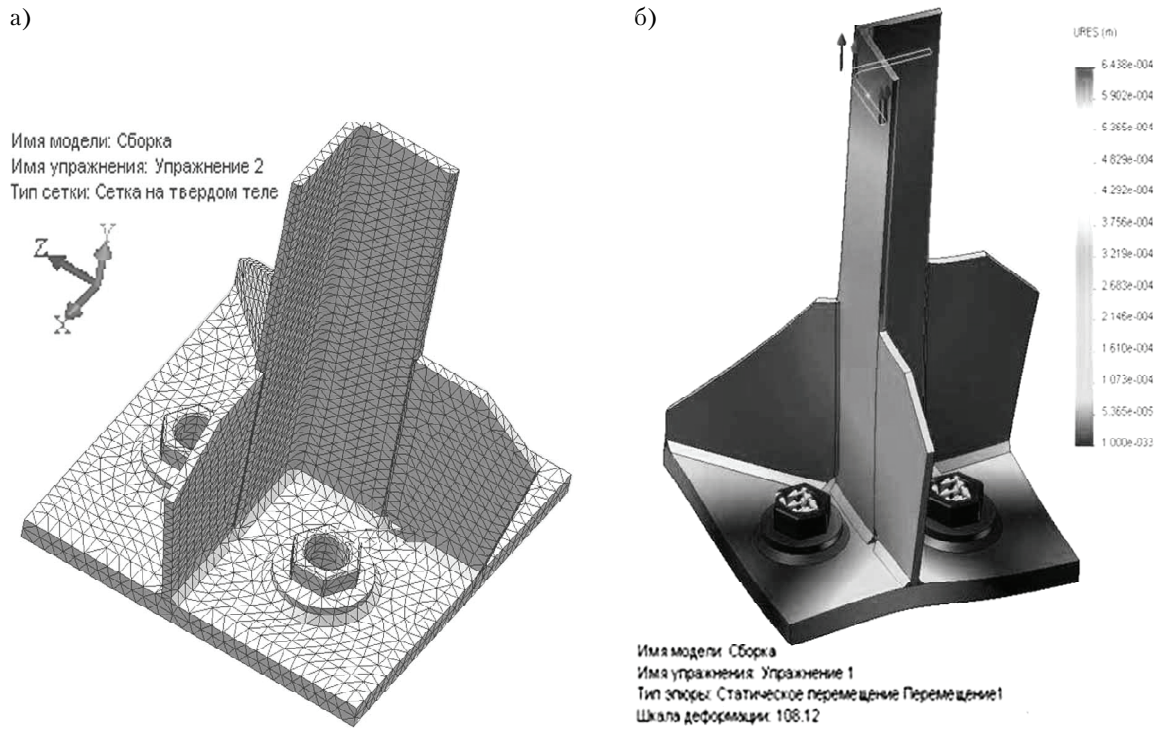


Рис. 4. Чисельне моделювання вузла на програмі "Cosmos-Works": а — модель у розрахунковому процесорі із триангуляційною сіткою тетраедричних елементів; б — деформації.

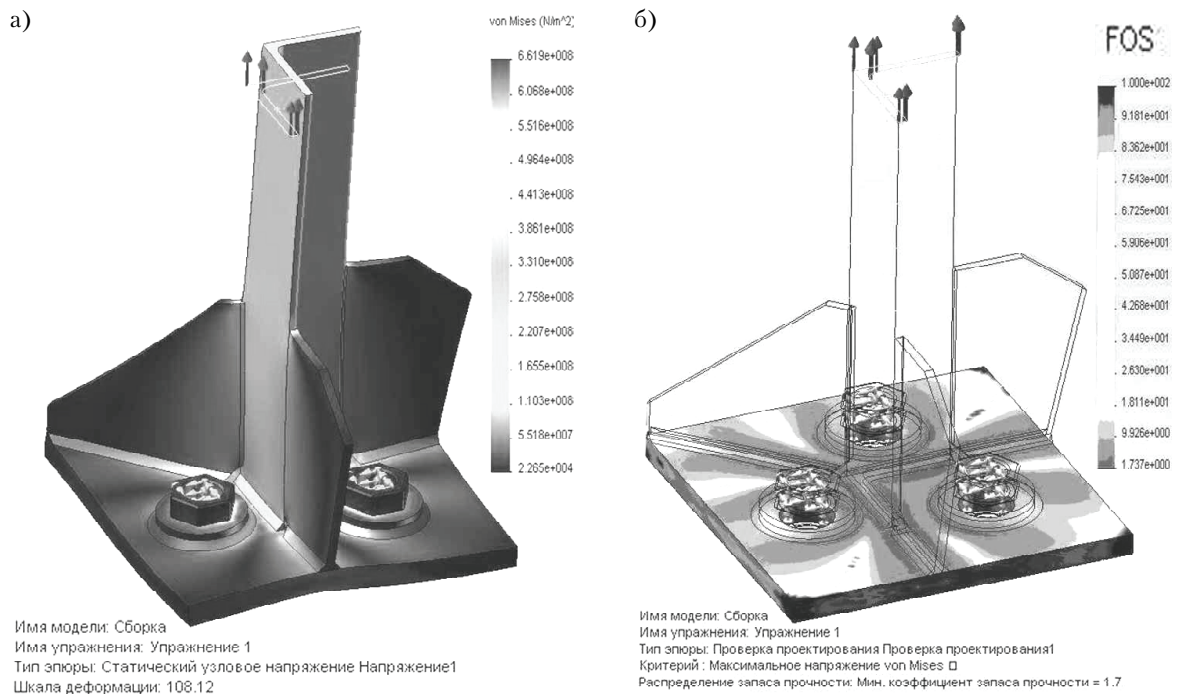


Рис. 5. Аналіз розрахунку на програмі "Cosmos-Works": а — еквівалентні напруження за енергетичною теорією міцності; б — розподіл коефіцієнтів запасу міцності по фланцю.

Таблиця 1. Зведені результати моделювання фланця опорного вузла башти при  $\Delta=30\text{мм}$ .

Аналітичне		Чисельне			
Максимальні еквівалентні напруження $\sigma_{\text{max}}$ , МПа	Максимальні деформації по Oz, мм	Максимальні еквівалентні напруження $\sigma_{\text{max}}$ , МПа	Максимальні деформації по Oz, мм	Максимальні еквівалентні напруження $\sigma_{\text{max}}$ , МПа	Максимальні деформації по Oz, мм
242,6 Біля кутника	0,683 (вільна вершина)	137,5 Біля кутника	0,126	148,0 Біля кутника	0,181
235,0 Поблизу шайб	0,412 (поблизу отвору)	200,6 Поблизу шайб		120,0 Поблизу шайб	

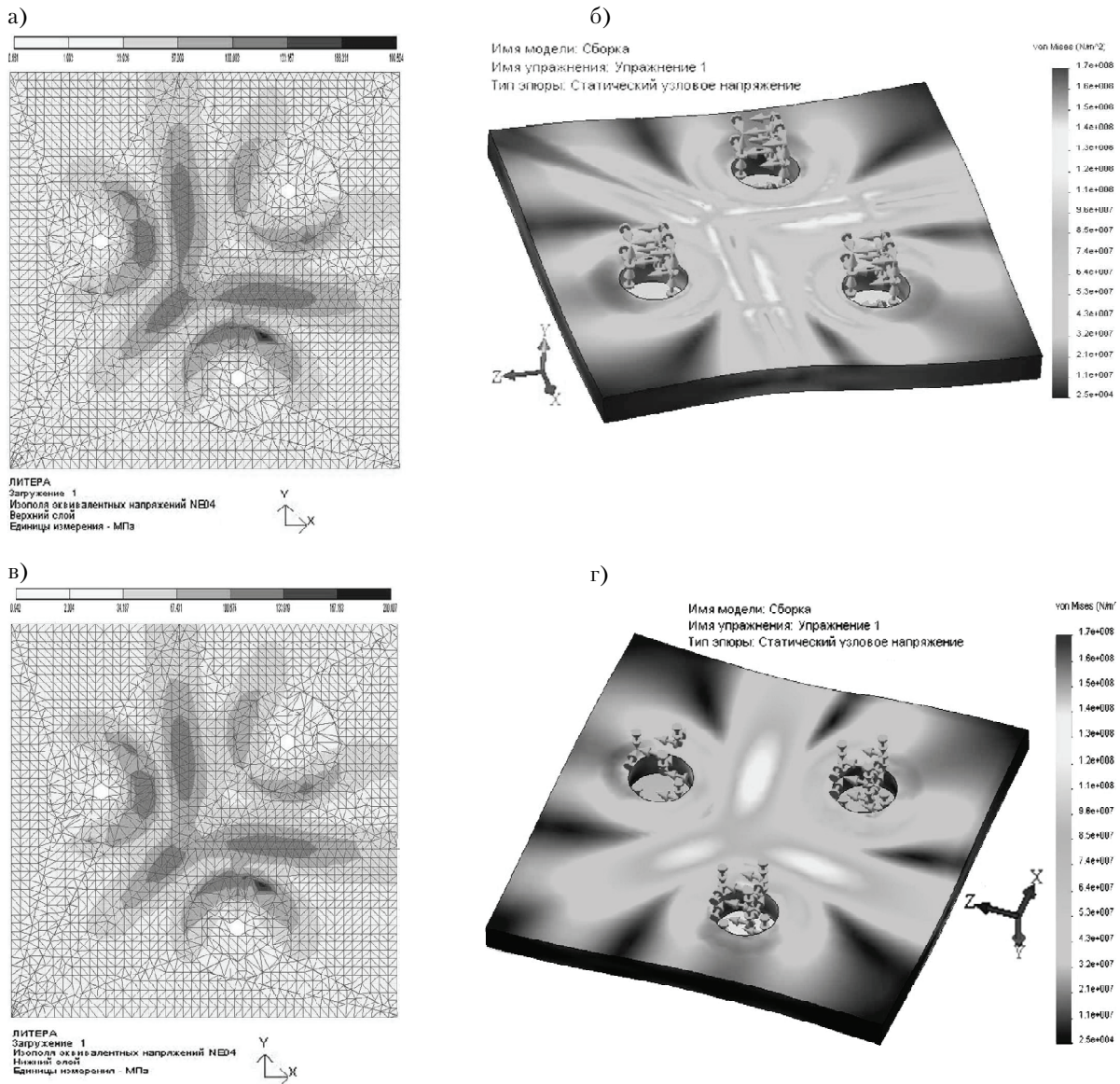


Рис. 6. Еквівалентні напруження: за "Lira 9.4" (а,в) та "Cosmos-Works" (б,г): а,б – верхні волокна; в,г – нижні волокна.



Таблиця 2. Зведені результати оптимізації товщини фланця ( $\sigma_{екв} \approx R_y$ ).

Моделювання	Аналітичне методами опору матеріалів	Чисельне на "Lira 9.4"	Чисельне на "Cosmos-Works"
Раціональна товщина $\Delta$ , мм	32	28	26
Економія матеріалу, %	-	12,5	18,75

### Висновки

Аналізуючи результати аналітичних та чисельних досліджень на програмних комплексах "Lira 9.4" та "Cosmos-Works" напружено-деформованого стану фланцевого опорного вузла телекомунікаційної башти висотою 60 м, можна зробити такі висновки.

1. Набув подальшого розвитку метод аналізу напружено-деформованого стану опорних вузлів баштових споруд, пов'язаний із більш повним врахуванням конструктивних особливостей з'єднання його елементів.
2. Розроблено аналітичну та дві чисельні моделі фланцевого опорного вузла телекомунікаційних башт, з їх допомогою виконано підбір основних геометричних співвідношень для раціоналізації конструкції.
3. Виявлено, що високодеталізоване врахування всіх конструктивних особливостей вузла призводить до економії металу в межах 18,75 %.

### Література

1. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. и др. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург. — 2006. — 799 с.
2. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т.1. / В.И. Ануриев — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1980. — 728 с.
3. Альохін А.М. Дійсна робота антенних опор під дією ожеледно-вітрових впливів: Автореф. дис. на здобуття наук ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / Донбас. нац. акад. буд-ва і архіт. / А.М. Альохін — Макіївка, 2009. — 20 с.
4. Волошин А.А. Расчет и конструирование фланцевых соединений. Справочник. / А.А. Волошин, Г.Т. Григорьев — Л: Машиностроение, 1972. — 136 с.
5. Жук Н.Р. Расчет и конструирование башенной опоры сотовой сети высотой 70 м / Жук Н.Р.,

Шевченко Е.В., Удахин С.А. // Международный научный журнал "Металлические конструкции". — Макеевка. — 2001. - Том 4.—№1. - С. 51-54.

6. Инструкция по эксплуатации металлических антенных опор радиостанций и радиотелевизионных передающих станций. Взамен: Инструкции по эксплуатации металлических антенных опор радиостанций, утвержденной Минсвязи СССР в 1967 г. Утверждена Минсвязи СССР 23.04.1978. Введ.: 01.01.1979. М.: Радио и связь, 1983. — 43 с.
7. Металлические конструкции. Строительные нормы и правила: СНиП III-18-75 / Госстрой СССР - Взамен главы СНиП III-8.5-62\*; [Введ. 1977-01-01] — М.: Стройиздат, 1975. — 70 с. — (Строительные нормы и правила).
8. Металлические конструкции. В 3-х т. Т.1. Элементы стальных конструкций. Учебное пособие для вузов / [Горев В.В., Уваров Б.Ю., Филиппов В.В. и др.]; Под ред. Горева В.В. — М.: Высшая школа. 1997. — 527 с.
9. Металлические конструкции. В 3-х т. Т.3. Специальные конструкции и сооружения: Учебное пособие для строит. вузов / [Горев В.В., Уваров Б.Ю., Филиппов В.В. и др.]; Под ред. В. В. Горева. — М.: Высшая школа, 1999. — 554 с.
10. 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).
11. Общие правила проектирования стальных конструкций: СП 53-102-204 / ЦНИИСК им. Кучеренко. — М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 2005. — 131 с.
12. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 2. / Орлов П.И. [Под ред. П.Н. Учаева]. — 3-е изд., исправл. — М.: Машиностроение, 1988. — 544 с.
13. Перельмутер А.В. Башни для ветроэнергетических установок: тенденции развития / А.В. Перельмутер, М.А. Микитаренко // Вестник ДонГАСА. — Макеевка. — 2001. — №2001-5 (30). — С. 8-13.
14. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов. / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев — К.: Наукова думка, 1975. — 705 с.
15. Пособие по проектированию стальных конструкций / к СНиП II-23-81\*/. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. — 148 с.

16. Пособие по проектированию стальных конструкций опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи и открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций напряжением свыше 1 кВ (к СНиП II-23-81\*).—М.: Центральный институт типового проектирования, 1989. — 72 с.
17. 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).
18. Сварные строительные конструкции. В 3-х томах. Т.3. / [Лобанов Л.И., Шимановский В.Н., Шимановский А.В. и др.] — К.: ИЭС им. Е.О.Патона, 2003. — 378 с.
19. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-23-81\*. / Госстроя 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).
20. Строительная механика: Учебник для вузов / [Ю.И. Бутенко, Н.А. Засядько, С.Н. Кан и др.]; под ред. Ю.И. Бутенко. — К.: Выща школа, 1989. — 479 с.
21. Шевченко Е.В. Оптимальное проектирование башенных радиорелейных опор / [Шевченко Е.В., Жук Н.Р., Удахин С.А.] // Вестник ДонГАСА. — Макеевка. — 2004. — №2004-2 (44). — С.7-10.
22. Шевченко Е.В. Розрахунок баштової опори повітряної лінії електропередачі як просторової шарнірно-стрижневої системи / [Шевченко Е.В., Глухов В.О., Сапронов Ю.В., Удахин С.А.] // Будівництво України, 2000. — №1. — С. 41-43.
23. 27142-9. Вежі стільникового зв'язку "Київстар". Вежа висотою 60 м. Четвертий вітровий район. ТОВ "Гервін". Вінниця — 2008 р. — 22 с.

**Попов Володимир Олексійович** — к.т.н., є доцентом кафедри "Промислове та цивільне будівництво" Вінницького національного технічного університету. Наукові інтереси: стійкість рівноваги висотних споруд, раціональні вузлові з'єднання баштових споруд, контейнери для утилізації радіоактивних відходів, газгольders та інші металеві ємності для зберігання та утилізації рідких та газоподібних речовин.

**Попов Владимир Алексеевич** — к.т.н., является доцентом кафедры "Промышленное и гражданское строительство" Винницкого национального технического университета. Научные интересы: устойчивость равновесия высотных сооружений, рациональные узловые соединения башенных сооружений, контейнеры для утилизации радиоактивных отходов, газгольders и другие металлические емкости для хранения и утилизации жидких и газообразных веществ.

**Popov Vladimir Alexeevich** — Ph.D., an Associate Professor at the Department "Industrial and Civil Engineering" of Vinnitsa National Technical University. Scientific interests: equilibrium stability of high-rise structures, rational joints of tower structures, containers for utilizing radioactive waste, gasholders and other metallic containers for keeping and utilizing liquid and gaseous substances.