

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ЩОГЛ З АСИМЕТРИЧНИМИ ВІДТЯЖКАМИ, ЯК ГЕОМЕТРИЧНО НЕЛІНІЙНИХ СИСТЕМ

В. О. Попов, Н. М. Бриль, М. В. Маєвська

У статті розглянуто аналітичне та чисельне моделювання напружено-деформованого стану металеві щогли з використанням сучасного програмного комплексу "SCAD" для раціоналізації конструкцій. За допомогою чисельного експерименту визначено межі величин асиметрії відтяжок. Запропоновані практичні рекомендації для проектування щогл з асиметричними відтяжками.

В статье рассмотрено аналитическое и численное моделирование напряженно-деформированного состояния мачты с использованием современного программного комплекса "SCAD" для рационализации конструкций. С помощью чисельного эксперимента определены границы величин асимметрии оттяжек. Предложены практические рекомендации для проектирования мачт с асимметричными оттяжками.

The article deals with analytical and numerical modeling of stress-strain state of poles by using modern software "SCAD" to streamline designs. With the help of the numeral experiment defined the boundaries the asymmetry of braces. Practical recommendations for the design of masts with asymmetric braces.

Вступ. Аналіз останніх досліджень

На сьогоднішній день у зв'язку із поширенням мобільного зв'язку та необхідністю оптимізації конструкції масових серійних щогл, що будуються, обслуговуються та паспортизуються в Україні виникла гостра необхідність у проектуванні раціональних щогл, 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 "Проекстальконструкція", ДНАБіА, Львівська Політехніка, ВНТУ, а також вчені Горохов Е. В., Кущенко В. Н., Васильов В. Н., Левін В. М., Зайченко Н. М., Кліков В. М., Губарь В. Н., Калмиков Ю. Ю., Саліван Ю. И., Давидов И. И., Чабан В. П., Перельмутер А. В. та інші.

В процесі аналізу літературних джерел виявлено, що перед науковцями постає ряд невирішених і повністю недосліджених питань, щодо раціонального і правильного конструювання щогл, а саме:

- раціональний вибір попереднього напруження в відтяжках;
- дослідження напружено-деформованого стану щогл;
- визначення межі величини асиметрії відтяжок.

Постановка проблеми

Таким чином постає мета дослідження – на основі скінченно-елементного моделювання типової щогли (рис. 1) виконати моделювання напружено-деформованого стану щогли, виявити межі величин асиметрії відтяжок. Для цього необхідно виконати комплекс задач, наведених нижче.

- Виконати моделювання напружено-деформованого стану існуючої типової телекомунікаційної щогли висотою близько 70 м, визначити напруження, деформації та жорсткості елементів за допомогою ПК SCAD.
- Виконати чисельний експеримент з виявлення меж величин асиметрії щогл з асиметричними відтяжками, виходячи з необхідності дотримання чинних норм при дії критичних температур.
- Виявити закономірності підбору початкових попередніх напружень у асиметричних відтяжках.

Основна частина

Моделювання напружено-деформованого стану щогли виконано методом скінченних елементів, реалізований засобами програмного комплексу «SCAD» із врахуванням, з огляду на суттєві деформації, геометричної нелінійності.

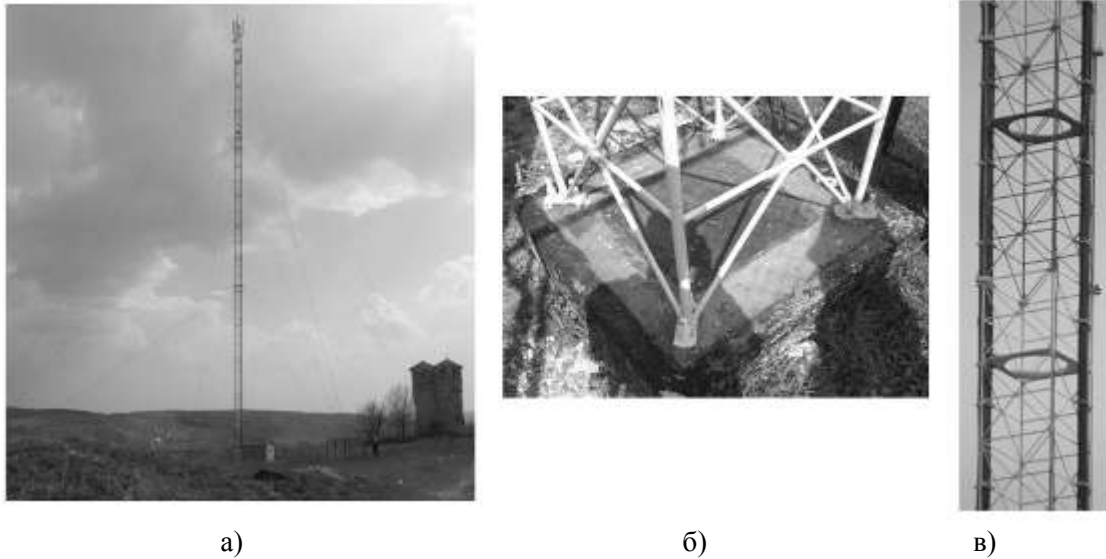


Рис. 1. Щогла, що розраховується

а – загальний вигляд, б – жорстке защемлення фундаменту, в – переріз щогли
 Розрахункова схема щогли була складена у вигляді просторової стрижневої системи.

Щоглу, що обрана для чисельного експерименту побудовано у III ожеледному і III вітровому районах, розрахунковою висотою 69,78 м виконано у вигляді чотиригранної решітчастої призми, яка складається з 29-ти секцій довжиною 2,4 м кожна. Ширина та довжина кожної грані призми в осях поясів рівна 760 мм. За відносну позначку 0,00 прийнята позначка обрізу фундаменту щогли.

Щогла підтримується із площини двома ярусами відтяжок, які розташовані у площинах діагоналей горизонтальних перерізів щогли. Кріпляться на позначках: + 24.030 м під кутом $53^{\circ} \dots 56^{\circ}$; + 45,690м під кутом $35^{\circ} \dots 37^{\circ}$; + 67,350м під кутом 26° . Елементи поясів щогли виконані з круглого профілю $\varnothing 28$ мм у першій (нижній) секції та з круглого профілю $\varnothing 25$ мм у всіх інших секціях. Елементи розпірок – з круглого профілю $\varnothing 16$ мм. Елементи розкосів – з круглого профілю $\varnothing 16$ мм у першій (нижній) секції та з круглого профілю $\varnothing 12$ мм у всіх інших секціях. Матеріал усіх стрижневих елементів сталь марки С 235 за ГОСТ 1050-88. Відтяжки 1-го та 2-го ярусів виконано зі сталевих канатів діаметром 17,5 мм з органічним осердям за ГОСТ 3069-80*, маркувальної групи 1570 Н/мм² (160 кгс/мм²), відтяжки 3-го ярусу виконано зі сталевих канатів діаметром 21,0 мм з органічним осердям за ГОСТ 3069-80*, маркувальної групи 1570 Н/мм² (160 кгс/мм²).

Під час розрахунку встановлено та прийнято зусилля попереднього напруження відтяжок, що становить:

- 1-ий ярус (нижній) – 9,78 кН;
- 2-ий ярус (верхній) – 9,78 кН;
- 2-ий ярус (верхній) – 14,76 кН.

В результаті розрахунку елементів ствола виявлено, що їх міцність, стійкість та жорсткість забезпечена.

Таблиця 1

Результати розрахунку переміщень

| Вид переміщення | max + | | | max - | | |
|-----------------|----------|-------|--------------|----------|-------|--------------|
| | Величина | Вузол | Навантаження | Величина | Вузол | Навантаження |
| X | 2.51 | 1013 | ВВ+ВП | -1.69 | 833 | ВВ+ВП |
| Y | 6.03 | 925 | ВВ+ВП | -0.40 | 194 | ВВ+ВП |

Аналізуючи дані з таблиці 4, робимо висновок, що найбільше переміщення виникає при дії основного сполучення навантажень: “власна вага + вітер з пульсацією” (ВВ+ВП). Величина переміщення становить 6,03 мм, що відповідає вимогам згідно з якими максимальне переміщення не повинно перевищувати 1/100 висоти щогли, що складає 698 мм для даного вузла. Умову жорсткості для стовбура щогли виконано.

Результати розрахунку коефіцієнта запасу загальної стійкості щогли, при значеннях попереднього напруження відтяжок від власної ваги та дії вітру наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Коефіцієнт запасу стійкості щогли

| Номер загру ження | Коеффициент запаса устойчивости системы | КОММЕНТАРИЙ | |
|---|--|-------------|------------------------------------|
| 2 | 2,71289 | имя: | 2, шаг 30 - "(L1)*1+(L2)*1+(L3)*1" |
| Интервал поиска коэффициентов запаса устойчивости 0 - 3.000 | | | |
| Точность - 0.010000 | | | |

Мінімальне значення коефіцієнта запасу загальної стійкості щогли становить 1,3. Досліджувана щогла відповідає даному критерію при коефіцієнті запасу 2,71.

Таблиця 3

Результати перевірки міцності відтяжок

| Номери елементів | Ø канату, мм | Максимальні зусилля за результатами розрахунку, кН | Розривне зусилля канату в цілому для маркувальної групи 160 кг/мм ² , кН. (ГОСТ 3069-80*) | γ_m , за п.3.9 [3] | γ_c , за п.16.7 [3] | Розрахункова міцність канату в цілому, кН | Коефіцієнт використання міцності |
|------------------|--------------|--|--|---------------------------|----------------------------|---|----------------------------------|
| 1-ий ярус | 17,5 | 23,76 | 150,500 | 1,6 | 0,8 | 75,25 | 0,32 |
| 2-ий ярус | 17,5 | 42,44 | 150,500 | 1,6 | 0,8 | 75,25 | 0,56 |
| 3-ій ярус | 21,0 | 49,57 | 271,000 | 1,6 | 0,8 | 135,50 | 0,37 |

Таким чином споруда відповідає чинним нормам за міцністю, жорсткістю, деформаціями.

Чисельний експеримент

При проектуванні телекомунікаційних щогл часто виникає проблема з симетричним встановленням відтяжок, оскільки місця їх закріплення на землі розміщені далеко від центра щогли а на території розташовані різного роду перепони. Важливо встановити ступінь асиметрії встановлення відтяжок, яка не впливає на надійність експлуатації щогли.

Для виявлення можливого ступеня асиметрії було проведено математичне моделювання роботи щогли (рис. 2) при поступовому збільшенні ступеня асиметрії однієї з відтяжок.

Розглядався напружено-деформований стан щогли висотою 69,78 м, з трьома ярусами відтяжок (перший ярус – 24 м, другий ярус – 45,6 м, третій ярус – 67,2 м), початкові напруження в відтяжках: N1 = 14,98 кН; N2 = 9,73 кН; N3 = 9,5 кН;

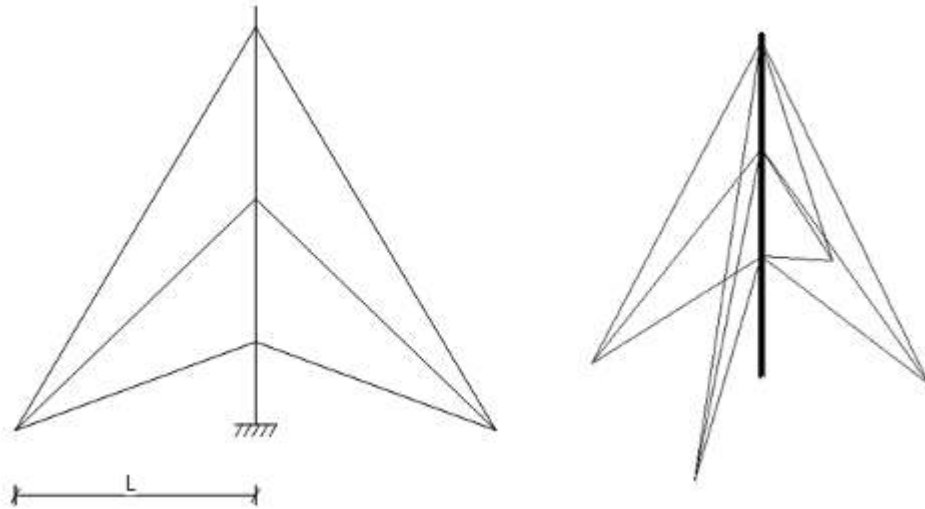


Рис. 2. Конструктивна схема щогли

Процес моделювання здійснювався таким чином: місце закріплення однієї із відтяжок змінювалося від початкової відстані(L) до трьох таких відстаней невеликими кроками, спочатку по 0,1L потім по 0,17L. При переміщенні точки закріплення у відтяжці та стовбурі щогли виникає зміна напруженого стану, яку на практиці регулюють корегуванням попереднього напруження в відтяжках.

Для кожного нового місця розміщення точки закріплення визначалося потрібне попереднє напруження в відтяжках, яке б забезпечувало відсутність неприпустимих переміщень стовбура щогли. Крім цього на кожному кроці додатково розглядався вплив критичних температур зовнішнього повітря від -40 °С до +40 °С. Температурний вплив навіть при відрегульованому попередньому напруженні відтяжок може призвести до втрати щоглою стійкості і тим швидше чим більша асиметрія відтяжок.

Для прикладу в таблиці 4 наведені переміщення точок щогли при збільшенні відстані місця закріплення відтяжок 0,5L від початкової точки, при відсутності впливу температур, а в таблиці 5 максимальні переміщення з урахуванням впливу температур.

Таблиця 4

Результати розрахунку переміщень

| Вид переміщення | max + | | | max - | | |
|-----------------|----------|-------|--------------|----------|-------|--------------|
| | Величина | Вузол | Навантаження | Величина | Вузол | Навантаження |
| X | 4,51 | 3033 | ВВ+ВП | -4,35 | 3045 | ВВ+ВП |
| Y | 3,86 | 3062 | ВВ+ВП | 0,00 | 2208 | ВВ+ВП |

Переміщення від температурного впливу наведені у таблиці 5.

Таблиця 5

Результати розрахунку переміщень

| Вид переміщення | max +40 | | | max - 40 | | |
|-----------------|----------|-------|--------------|----------|-------|--------------|
| | Величина | Вузол | Навантаження | Величина | Вузол | Навантаження |
| X | -2,73 | 3065 | ВВ+ВП | 2,73 | 3059 | ВВ+ВП |
| Y | 46,93 | 3062 | ВВ+ВП | -46,93 | 3056 | ВВ+ВП |

Як бачимо величина переміщення при врахуванні впливу температур суттєво збільшується.

На рисунку 3 наведений графік залежності потрібного попереднього напруження в відтяжках від ступеня асиметрії без впливу температури, який показує принципову можливість

регулювання надійної роботи щогли при досить значній асиметрії. Але врахування температурного впливу показало, що ступінь асиметрії при якій щогла втрачає стійкість наступає набагато раніше ніж без врахування температур, а саме при моделюванні досліджуваної щогли на 7-му кроці (0,7L).

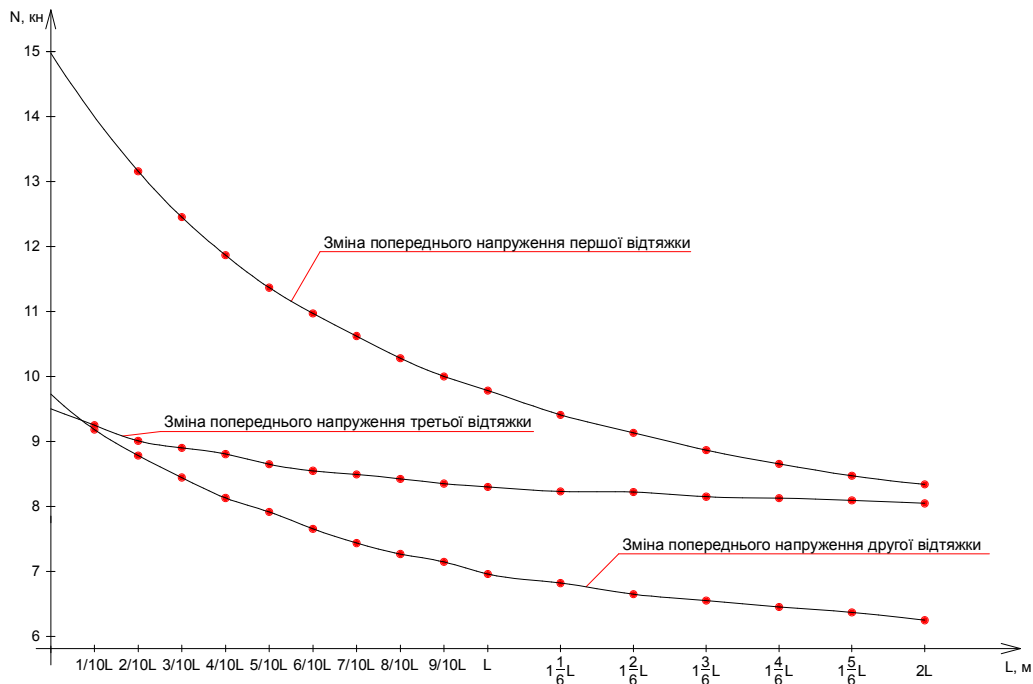


Рис. 3. Зміна попереднього напруження у відтяжках

Висновки

- Встановлена закономірність зміни попереднього напруження у відтяжках щогли висотою 69,78 м від ступеню асиметрії однієї із відтяжок.
- Без врахування температурного режиму за рахунок регулювання попереднього напруження можливе суттєве збільшення асиметрії.
- Керівним фактором який обмежує ступінь асиметрії в відтяжках є температурний вплив.
- Запропоновані такі практичні рекомендації для проектування щогл з асиметричними відтяжками:
 - при проектуванні таких конструкцій в першу чергу потрібно звертати увагу на підбір раціонального попереднього напруження у відтяжках;
 - при моделюванні враховувати вплив дії критичних температур;

Список літератури

1. ДБН В.1.2-:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Введ. з 1 січня 2007 р. на заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10). – К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с.
2. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с. с приложениями.
3. СНиП II-23-81*. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – Взамен СНиП II-В.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67 Введ. 01.01.82. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1991. – 96 с.
4. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. Введ. з 1 січня 2007 р. на заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85. – К.: Мінбуд України, 2006. – 10 с.
5. Перельмутер А. В. SCAD office. Расчет мачт на оттяжках. Киев, 2004. – 47 с.
6. Карпиловский В. С. Вычислительный комплекс SCAD / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. – М.: Издательство АСВ; 2004.- 592 с.
7. "Инструкции по эксплуатации антенных сооружений радиорелейных линий связи" – М. –

- 1979 р., розробленої інститутом ГСПИ Міністерства зв'язі ССРСР.
8. Башмаков Ю. И. Проектування та монтаж високих опор / Башмаков Ю. И., Лурье А. Х., Перельмутер А. В., Перепон А. А. – К.: Будівельник, 1968.
 9. Медведева Н. М. Система програм для расчёта мачт на оттяжках / Медведева Н. М., Микитаренко М. А., Перельмутер А. В. – Исследование систем автоматизированного проектирования стальных конструкции. Труды ЦНИИИСК им. Мельникова. – М.: 1983.
 10. Перельмутер А. В. Основы расчета вантово-стержневых систем / Перельмутер А. В. – М.: Стройиздат, 1969.
 11. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / Перельмутер А. В., Сливкер В.И. – Изд. 2-е, переработанное и дополненное. – Киев: Изд-во «Сталь», 2002.
 12. Савицкий И. А. Основы расчета радиомачт / И. А. Савицкий. – М.: Связьиздат, 1953.
 13. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD / В. С. Каримовский, Э. З. Крнксунов, А. А. Маляренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. – М.: Изд-во АСВ, 2004.
 14. Соколов А. И. Металлические конструкции антенных устройств / А. И. Соколов. – М.: Стройиздат, 1973.
 15. Справочник проектировщика. Металлические конструкции (в 3 томах). Том 3. – М.: Издательство АСВ, 1999.
 16. Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик / В. С. Каринловский, Э. З. Крнксунов, Л. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. – К.: ВПП «Компас», 2000. – 80 с.
 17. Металлические конструкции. В 3 т. Т.1. Элементы конструкций / Под ред. В. В. Горева. – М.: «Высшая школа», 2000.
 18. Металлические конструкции. В 3 т. Т.2. Конструкции зданий / Под ред. В. В. Горева. – М.: «Высшая школа», 2000.
 19. Свердлов В. Д. Металеві баштові споруди з високим ступенем співосності несучих елементів / Свердлов В. Д., Попов В. О. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 141 с.

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

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

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