

УДК 624.971

Р. А. САВЧЕНКО^{1*}, Д. О. БАННИКОВ^{2*}, І. І. КИРПА^{3*}

^{1*}Ф-т «Промислове та цивільне будівництво», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 571 90 47, ел. пошта kriateddd@gmail.com, ORCID 0000-0002-8184-1818

^{2*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (063) 400 43 07, ел. пошта bdo2010@ Rambler.ru, ORCID 0000-0002-9019-9679

^{3*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 787 76 55, ORCID 0000-0003-3696-4701

РАЦІОНАЛЬНА ВИСОТНА СПОРУДА ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ВІТРОВОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ УКРАЇНИ

Мета. Для спостережень за вітром використовують спеціальне вітрове обладнання, яке має бути розміщено на певній висоті над поверхнею землі на протязі відносно невеликого терміну часу. Таке обладнання може переноситись із одного регіону місцевості в інший. Тому основною метою викладених у публікації досліджень є вибір та обґрунтування конструкції мобільної висотної споруди для розміщення вітрового обладнання в природно-кліматичних умовах України. **Методика.** Для досягнення поставленої мети спочатку було обрано тип висотної споруди з можливих існуючих. Далі визначався характер дії природно-кліматичних навантажень на ці споруди за чинними в Україні нормами. Після цього виконувався чисельний аналіз роботи висотних споруд методом скінчених елементів на базі програмного комплексу Ліра. Також була надана економічна оцінка доцільності застосування висотних споруд певного типу з урахуванням оренди земельної ділянки для їх розташування. **Результати.** За підсумками проведених досліджень слід констатувати, що для умов України найбільш раціональною мобільною висотною спорудою для розміщення вітрового обладнання на відносно короткий проміжок часу є сталева вежа. У порівнянні зі сталевим щоглою аналогічної висоти сумарна вартість її встановлення та експлуатації виявляється нижчою. Перехресна решітка для сталевих веж висотою порядку 50–60 м є більш раціональною, ніж напіврозкісна. При цьому її використання практично вдвічі зменшує вартість споруди. З урахуванням можливості транспортування найбільш ефективним слід вважати розподіл сталевих веж на секції довжиною 8–10 м. **Наукова новизна.** Авторами запропонована методика оцінки економічної ефективності вибору мобільної висотної споруди в залежності від природно-кліматичних умов місцевості. Відповідно до цієї методики визначено найбільш раціональний тип висотної споруди з урахуванням її мобільності. **Практична значимість.** Застосування запропонованих підходів та рішень дозволяє скоротити на практиці проектування час, потрібний для розрахунків, а також більш обґрунтовано підходити до вибору конструктивних рішень висотних споруд.

Ключові слова: висотна споруда; щогла; вежа; програмний комплекс Ліра; метод скінчених елементів

Введення

Останнім часом серед фахівців різних галузей постійно висловлюється та обговорюється думка про кліматичні зміни, які відбуваються на планеті [6–8, 14]. Тому для підтвердження чи спростування цього все частіше проводяться дослідження з визначення та фіксації різнома-

нітних кліматичних показників у різних районах. Не винятком є і Україна, територія якої, до речі, розташовується в різних природних зонах, включаючи і узбережжя морів, що дозволяє збирати цікаві дані.

Одним з напрямків кліматичних досліджень є спостереження за вітром, завдяки чому уточнюється не тільки вітрове навантаження на бу-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

дівельні конструкції, а й збираються відповідні статистичні дані. Для цього використовується спеціальне вітрове обладнання, яке розміщують на певній висоті над поверхнею землі (від 5 до 60 м) на протязі 1–2 років, що потребується для використання висотної споруди.

Оскільки збір даних має проводитись як в міській, так і заміській місцевості з довільним рельєфом та довільною забудовою (чи її відсутністю), то використання існуючих висотних споруд є практично неможливим. Набагато більш ефективним є встановлення вітрового обладнання на спеціально спроектованих мобільних висотних спорудах, які б можна було багаторазово збирати/розбирати, перемішуючи в потрібну точку місцевості.

Мета

Зважаючи на вищевикладене, основною метою виконаних авторами досліджень є вибір та обґрунтування конструкції мобільної висотної споруди для розміщення вітрового обладнання в природно-кліматичних умовах України.

Для досягнення цієї мети необхідно було спочатку вибрати тип висотної споруди, далі визначити характер дії на неї навантажень і тільки потім розробити конструктивне рішення, причому з якомога меншою масою.

Методика

Серед існуючих висотних споруд найбільш придатними для розміщення вітрового обладнання та відповідно до умов мобільності є сталеві щогли і вежі. Тому їх було визначено як базові для подальших досліджень.

Чинними в Україні нормативними документами, які регламентують питання визначення навантажень на будівельні конструкції, у тому числі й на висотні споруди, є норми [5]. Згідно до цих норм необхідно враховувати вітрові, ожеледні та ожеледно-вітрові навантаження для різних кліматичних районів.

Оскільки споруда, що проектується, може бути розміщена в довільній зоні на території України, то величини навантажень приймалися для району з їх найвищими значеннями. Такою зоною є узбережжя Азовського моря, де визначені природно-кліматичні навантаження сягають максимальних значень.

Для проведення варіантних розрахунків був використаний надзвичайно популярний та апробований чисельний метод будівельної механіки – метод скінчених елементів [9–13] на базі широко відомого вітчизняного програмного комплексу Ліра [4].

Були проаналізовані 4 конструктивні варіанти висотної споруди – щогла з кутом нахилу відтяжок 60° і 45° , а також вежа з хрестовою та напіврозкісною решітками. Кут нахилу відтяжок щогли обмежувався з міркувань зменшення площі, яку вони мають займати навколо споруди. Типи решіток веж обиралися такими, які найкращим чином здатні сприймати навантаження з різних напрямків та мають найвищу жорсткість.

Висота споруд в обох випадках дорівнювала 60 м. Переріз щогли був прийнятий трикутним, а у баштах – квадратним, як найбільш поширені та апробовані на практиці. Конструктивно в усіх випадках переріз елементів споруд передбачався з круглих гнutoзварних профілів, які також є доволі доступними, ефективними та недорогими на сучасному ринку України. Побудовані розрахункові схеми щогли та вежі наведені на рис. 1 і 2 відповідно.

Вони склалися зі стержневих скінчених елементів, а відтяжки щогл моделювалися за допомогою спеціальних скінчених елементів. Такий підхід дозволив уникнути питань оцінки збіжності результатів, що характерні для скінчених елементів інших видів [1–3].

Результати

За результатами виконаних розрахунків були отримані зусилля в елементах висотних споруд. Найбільший вплив на напружено-деформований стан конструкцій чинять згинальні моменти. Їх розподіл у вигляді мозаїк для деяких найбільш характерних випадків представлений на рис. 3 і 4.

По результатах розрахунків було складено узагальнюючу таблицю, в якій враховано масу висотної споруди, а також сумарні витрати з урахуванням виготовлення та плати за оренду займаної ділянки землі терміном на 1 рік (табл. 1). Закладена вартість була прийнята усереднена по Україні, адже вона різниться для різних регіонів. Проте такий аналіз дозволяє виявити загальну картину.

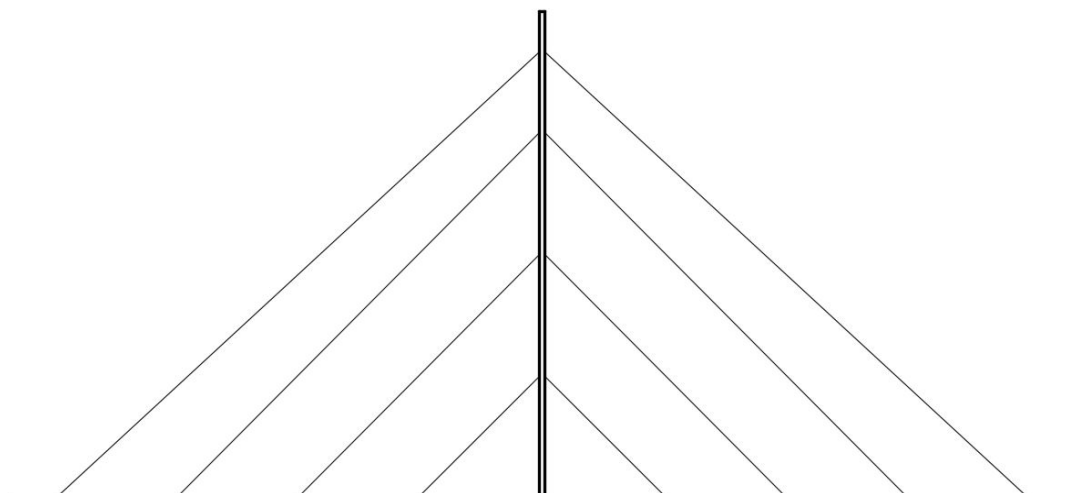
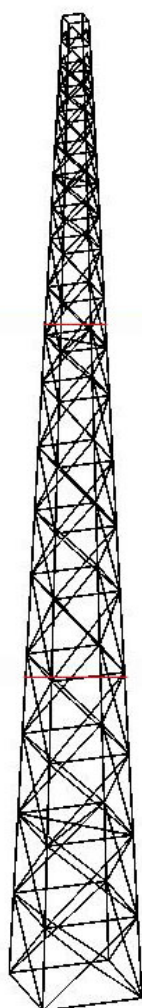


Рис. 1. Скінченно-елементна модель щогли (кут нахилу відтяжок 45°)

a



б

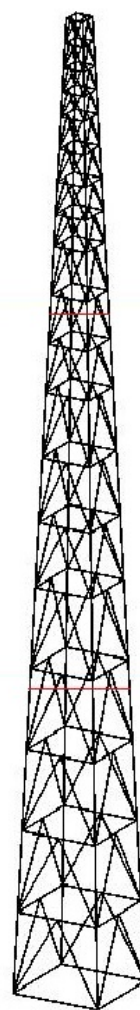
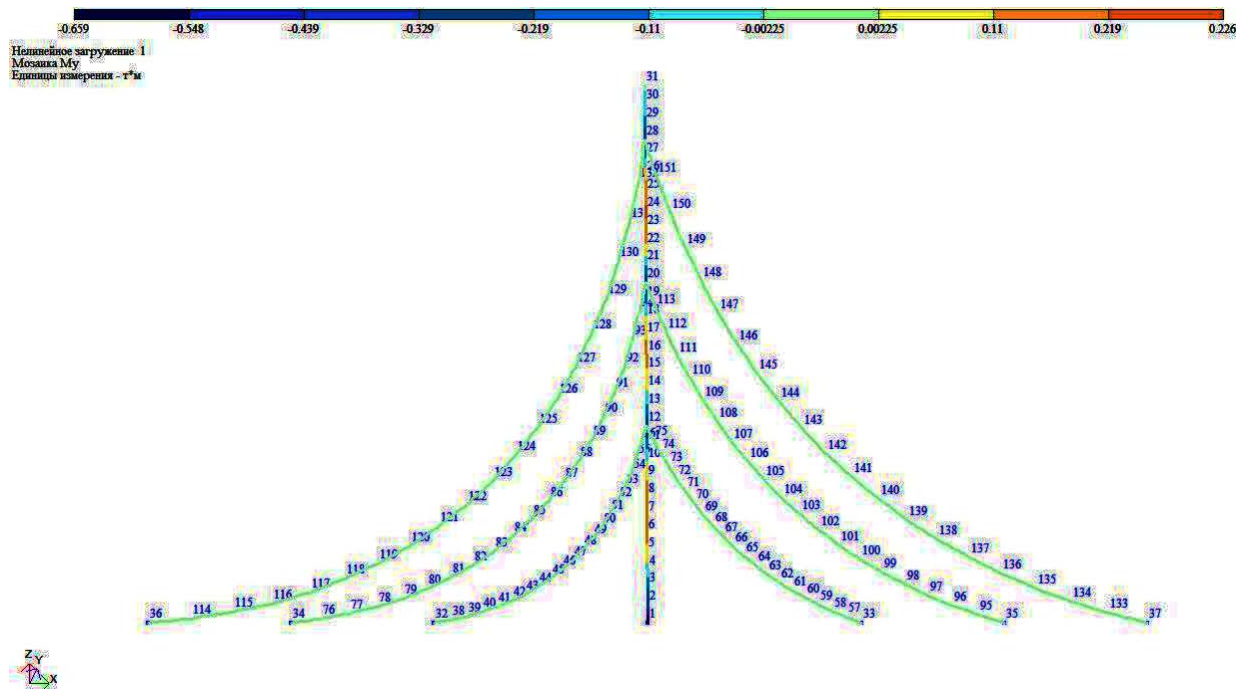


Рис. 2. Скінченно-елементна модель вежі:
a – з хрестовою і *б* – з напіврозкісною решіткою

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

a



б

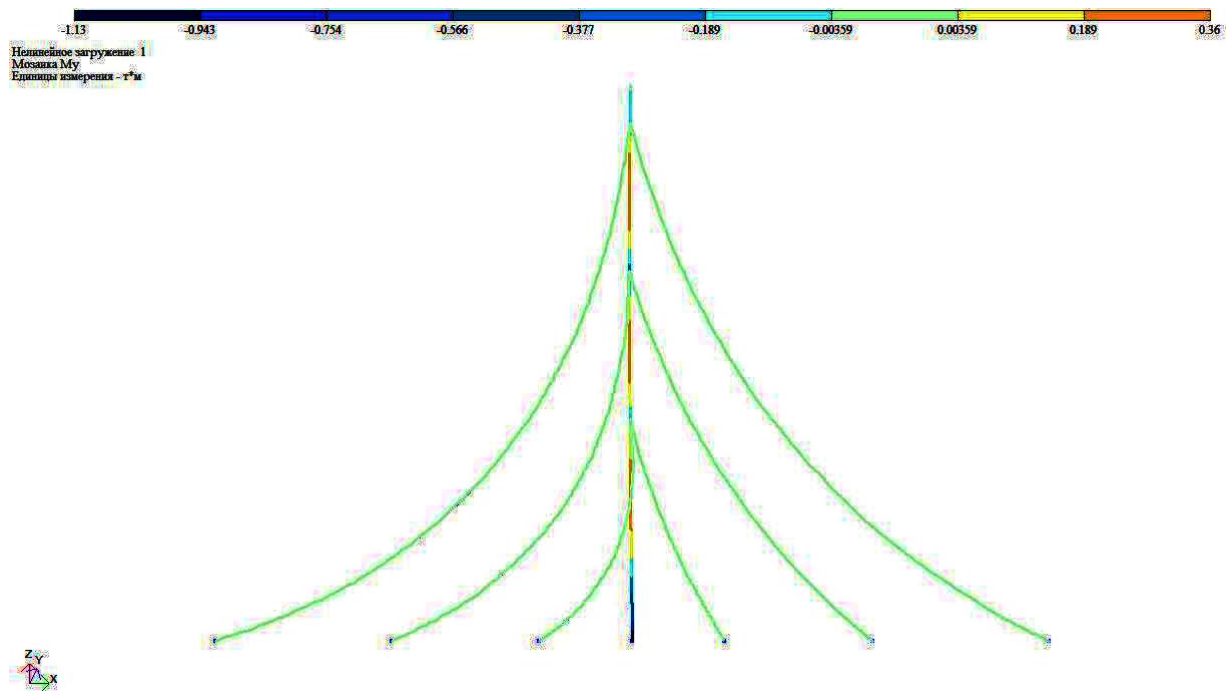


Рис. 3. Мозаїка розподілу згинальних моментів у щоглі під вітровим навантаженням:
a – без обледеніння та *б* – з обледенінням

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

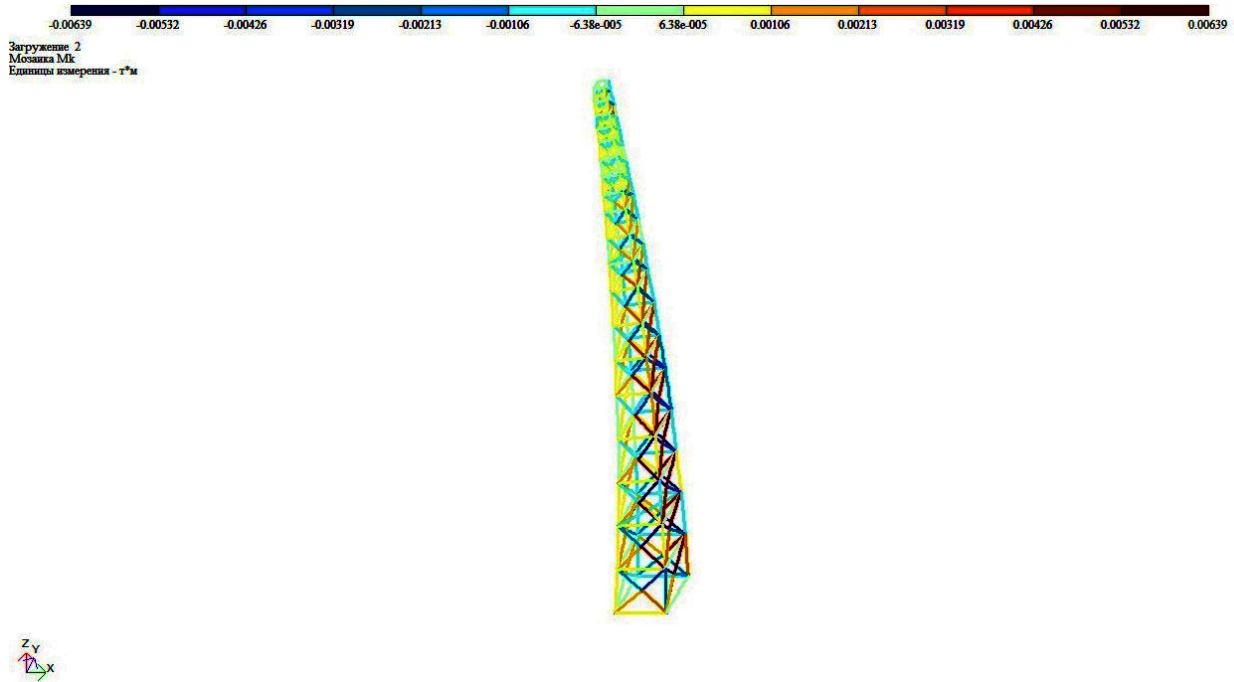
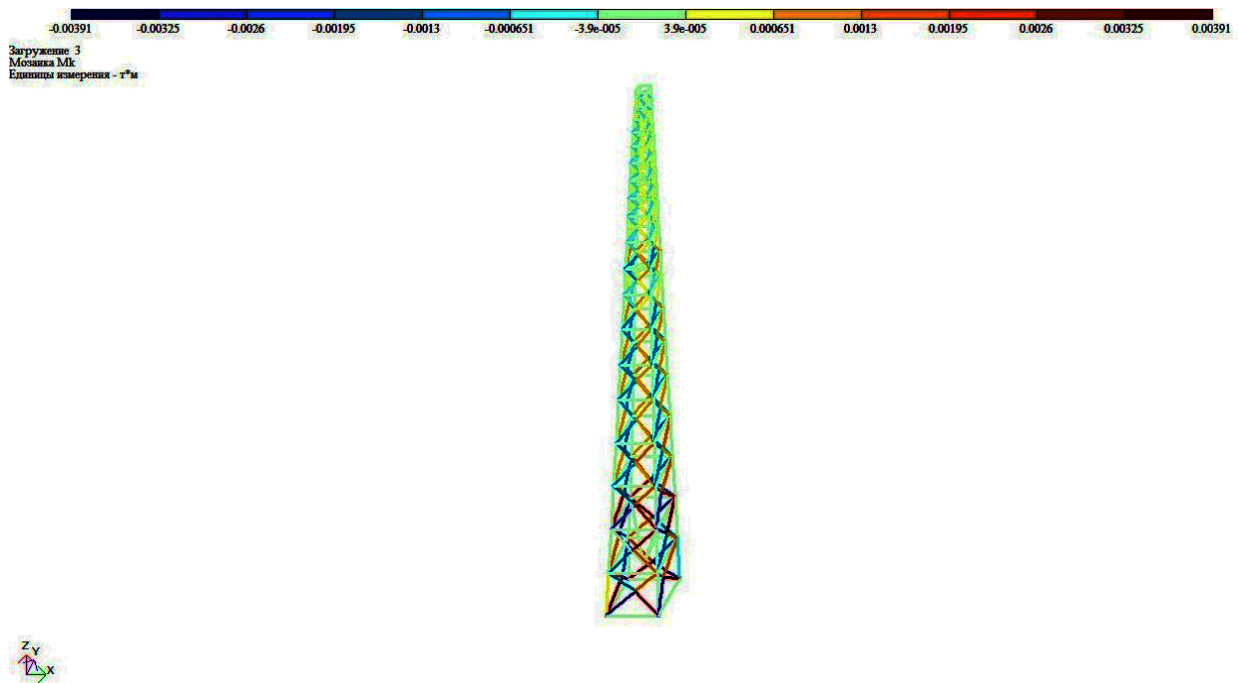
a*б*

Рис. 4. Мозаїка розподілу згинальних моментів у вежі під вітровим навантаженням:
a – без обледеніння та *б* – з обледенінням

Таблиця 1

Маса та вартість висотних споруд

Показник	Висотна споруда			
	щогла з відтяжками під кутом 60 °	щогла з відтяжками під кутом 45 °	вежа з перехресною решіткою	вежа з напіврозкісною решіткою
Маса, кг	3 104	2 975	6640	15 373
Вартість матеріалу, тис. грн	66,43	63,67	142,10	329,00
Вартість виготовлення металоконструкцій, тис. грн	166,06	159,16	355,24	822,46
Вартість оренди земельної ділянки, місто/за містом, тис. грн	420/140,0	280/60,0	4/0,5	4/0,5
Сумарна вартість, місто/за містом, тис. грн	652,5/372,5	502,8/282,8	500,3/497,8	1 154,4/1 151,9

Так, з таблиці чітко видно, що кількість матеріалу (сталі), яка необхідна для влаштування щогли в порівнянні з вежею з перехресною решіткою, більше ніж в два рази нижча, а в порівнянні з вежею з напіврозкісною решіткою – приблизно в п'ять разів нижча.

При розрахунку вартості оренди земельної ділянки для розташування мобільної висотної споруди розглядалося два варіанти: перший – для міської забудови, другий – для сільської місцевості (за містом). При цьому суттєву роль відіграє те, що площа, необхідна для влаштування відтяжок щогли, набагато більша за площу, яку займає вежа.

Також влаштування щогли з кутом відтяжок 45 ° виявляється більш економічним в плані матеріалоемності, але за умови розташування в межах міста сумарна вартість будівництва та експлуатації щогли за рахунок значної плати за оренду землі виявляється вищою, ніж плата за вежу з перехресною решіткою. Також в умовах міста не завжди є можливість орендувати велику ділянку, необхідну для розміщення щогли. Ці фактори дозволяють констатувати, що за даними виконаних досліджень від використання щогл краще відмовитись, а віддати перевагу вежі, причому з перехресною решіткою.

Окремим питанням є транспортування об'єкту споруди. Для цього передбачається її поділ на окремі транспортні секції. При цьому можливі різні схеми поділу. У табл. 2 наведені дані щодо маси секцій (у кг) для певних схем. У зв'язку зі зменшенням перерізу споруди у верхній частині остання секція має меншу масу.

Таблиця 2

Маса транспортних секцій

Схема поділу на секції		Маса вежі з перехресною решіткою, кг
20 м	перша секція	5 448,8
	остання секція	3 759,8
10 м	перша секція	3 173,9
	остання секція	1 610,9
5 м	перша секція	1 587,0
	остання секція	690,6

При першому варіанті поділу конструкції на 20-метрові секції основною перевагою є невелика кількість самих секцій, що позитивно впливає на надійність конструкції, зменшуючи кількість стикових вузлів. Недоліком такого поділу є виникнення складнощів із транспортуванням, особливо територією міста. Це може призвести до додаткових витрат або навіть унеможливлення транспортування секцій такої довжини.

Другий варіант поділу – на 10-метрові секції виявляється найбільш оптимальним як за розмірами, так і за масою. Помірна кількість монтажних секцій суттєво не впливає на надійність конструкції.

Розглядаючи третій варіант поділу – на 5-метрові секції – визначаємо велику кількість з'єднань в конструкції, що потенційно може призводити до зниження надійності споруди. К позитивним аспектам використання подібного

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

поділу слід віднести простоту монтажу на будівельному майданчику з використанням підйомної техніки з невеликою вантажопідйомністю.

Наукова новизна та практична значимість

Представлені в публікації дослідження дозволяють оцінити можливість використання різних типів мобільних сталевих висотних споруд для умов України. Оскільки в наявній фаховій літературі та в нормативній базі з проектування таких споруд відсутня інформація про можливі підходи або рекомендації щодо можливості розташування у всіх кліматичних регіонах України, то проведені дослідження надають змогу зменшити витрати часу на практичні розрахунки.

Визначивши за наведеною методикою сумарну вартість будівництва та експлуатації висотної споруди протягом певного періоду часу, з'являється можливість надання обґрунтованих рекомендацій щодо доцільності використання кожного з розглянутих варіантів висотних конструкцій.

Висновки

На підставі викладеного в публікації матеріалу можна зробити наступні висновки:

1. Для умов України найбільш раціональною висотною спорудою для розміщення вітрового обладнання на відносно короткій проміжковій часу (1–2 роки) є сталева вежа. У порівнянні з щоглою аналогічної висоти сумарна вартість її встановлення та експлуатації виявляється нижчою.

2. Перехресна решітка для сталевих веж висотою порядку 50–60 м є більш раціональною, ніж напіврозкрісна. При цьому її використання практично вдвічі зменшує вартість споруди.

3. З точки зору транспортування найбільш ефективним слід вважати поділ сталевих веж на секції довжиною 8–10 м.

4. Наведена в публікації методика оцінки економічної доцільності вибору мобільної висотної споруди може бути застосована і для інших видів мобільних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Банников, Д. О. Корректировка результатов расчета напряжений по МКЭ методом HSS / Д. О. Банников, А. Э. Гуслистая // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 134–141.
2. Банников, Д. О. Оцінка практичної збіжності результатів аналізу пластинчастих моделей в методі скінчених елементів / Д. О. Банников // Нові технології в будівництві. – 2017. – № 32. – С. 26–31.
3. Банников, Д. О. Оценка сходимости напряжений в сложных металлоконструкциях методом конечных элементов / Д. О. Банников, А. Э. Гуслистая // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 4. – С. 93–96.
4. Водопьянов, Р. Ю. Программный комплекс Лира-САПР 2014. Руководство пользователя. Обучающие примеры / Р. Ю. Водопьянов, В. П. Титок, А. Е. Артамонова ; под ред. А. С. Городецкого. – Москва : Электронное издание, 2014. – 394 с.
5. ДБН В.1.2-2-2006 (зі змінами). Система надійності та безпеки в будівництві. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Київ : Держбуд, 2007. – 70 с.
6. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск : Беларуская навука, 2012. – 265 с.
7. Лучицкая, И. О. Климат Новосибирска и его изменения / И. О. Лучицкая, Н. И. Белая, С. А. Арбузов ; под ред. Р. Я. Ягудина. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2014. – 224 с.
8. Brönnimann, S. The Machinery: Mechanisms Behind Climatic Changes / S. Brönnimann // Advances in Global Change Research (Climatic Changes Since 1700). – Cham, 2015. – Vol. 55. – P. 71–166. doi: 10.1007/978-3-319-19042-6_3.
9. Dow, J. O. A Concise Overview of the Finite Element Method / J. O. Dow. – New York : Momentum Press, 2015. – 220 p.
10. Finite Element Analysis-New trends and Developments / Edited by Farzad Ebrahimi. – London : InTech, 2012. – 410 p. doi: 10.5772/3352.
11. Overview of Extended Finite Element / Z. Zhuang, Z. Liu, B. Cheng, J. Liao // Extended Finite Element Method. – Amsterdam, 2014. – Chap. 1. – P. 1–12. doi: 10.1016/b978-0-12-407717-1.00001-7.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

12. Gatica, G. N. A Simple Introduction to the Mixed Finite Element Method. Theory and Application / G. N. Gatica. – Cham : Springer, 2014. – 132 p. doi: 10.1007/978-3-319-03695-3.
13. Liu, G. R. The Finite Element Method. A Practical Course / G. R. Liu, S. S. Quek. – Amsterdam : Elsevier LTD, 2014. – 433 p. doi: 10.1016/b978-0-08-098356-1.00014-x.
14. Vear, F. Changes in sunflower breeding over the last fifty years / F. Vear // OCL. – 2016. – Vol. 23. – Iss. 2. – P. 1–8. doi: 10.1051/ocl/2016006.

Р. А. САВЧЕНКО^{1*}, Д. О. БАННИКОВ^{2*}, И. И. КИРПА^{3*}

^{1*}Ф-т «Промышленное и гражданское строительство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (066) 571 90 47, эл. почта kriedddd@gmail.com, ORCID 0000-0002-8184-1818

^{2*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (063) 400 43 07, эл. почта bdo2010@rambler.ru, ORCID 0000-0002-9019-9679

^{3*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (066) 787 76 55, ORCID 0000-0003-3696-4701

РАЦИОНАЛЬНОЕ ВЫСОТНОЕ СООРУЖЕНИЕ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УКРАИНЫ

Цель. Для наблюдений за ветром используют специальное ветровое оборудование, которое должно быть размещено на определенной высоте над поверхностью земли на протяжении относительно небольшого периода времени. Такое оборудование может переноситься из одного региона местности в другой. Поэтому основной целью изложенных в публикации исследований является выбор и обоснование конструкции мобильного высотного сооружения для размещения ветрового оборудования в природно-климатических условиях Украины. **Методика.** Для достижения поставленной цели первоначально был выбран тип высотного сооружения из возможных существующих. Далее определялся характер действия природно-климатических нагрузок на эти сооружения согласно действующих в Украине норм. После этого выполнялся численный анализ работы высотных сооружений методом конечных элементов на базе программного комплекса Лира. Также была выполнена экономическая оценка целесообразности использования высотных сооружений определенного типа с учетом аренды земельного участка для их расположения. **Результаты.** По итогам проведенных исследований следует констатировать, что для условий Украины наиболее рациональным мобильным высотным сооружением для размещения ветрового оборудования на относительно небольшой интервал времени является стальная башня. В сравнении со стальной мачтой аналогичной высоты суммарная стоимость ее установки и эксплуатации оказывается меньшей. Перекрестная решетка для стальных башен высотой порядка 50–60 м является более рациональной, чем полураскосная. При этом ее использование практически вдвое снижает стоимость сооружения. С учетом возможности транспортировки наиболее эффективным следует считать разделение стальной башни на секции длиной 8–10 м. **Научная новизна.** Авторами предложена методика оценки экономической эффективности выбора мобильного высотного сооружения в зависимости от природно-климатических условий местности. В соответствии с этой методикой определен наиболее рациональный тип высотного сооружения с учетом его мобильности. **Практическая значимость.** Применение предложенных подходов и решений позволяет сократить на практике проектирования время, необходимое для расчетов, а также более обоснованно подходить к выбору конструктивных решений высотных сооружений.

Ключевые слова: высотное сооружение; мачта; башня; программный комплекс Лира; метод конечных элементов

R. A. SAVCHENKO^{1*}, D. O. BANNIKOV^{2*}, I. I. KYRPA^{3*}

^{1*}Faculty «Industrial and Civil Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 571 90 47, e-mail kriededdd@gmail.com, ORCID 0000-0002-8184-1818

^{2*}Dep. «Construction Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 400 43 07, e-mail bdo2010@rambler.ru, ORCID 0000-0002-9019-9679

^{3*}Dep. «Construction Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 787 76 55, ORCID 0000-0003-3696-4701

RATIONAL ALTITUDE STRUCTURE FOR PLACING THE WIND EQUIPMENT IN THE CONDITIONS OF UKRAINE

Purpose. For wind observations special wind equipment is used, which should be placed at a certain height above the ground for a relatively short period of time. Such equipment can be transferred from one region to another. Therefore, the main purpose of the studies outlined in the publication is the selection and justification of the construction of a mobile altitude structure for the placement of wind equipment in the natural and climatic conditions of Ukraine. **Methodology.** To achieve this purpose, first we chose the type of altitude structure from the existing ones. Next, we determined the nature of the effect of natural and climatic loads on these structures in accordance with the norms of Ukraine. After this, we performed a numerical analysis of the work of altitude structures by the finite element method on the basis of the Lira software. Also, an economic evaluation of the expediency of using altitude structures of a certain type was made, taking into account the lease of the land plot for their location. **Findings.** According to the results of the conducted studies, it should be noted that for the conditions of Ukraine a steel tower is the most rational mobile altitude structure for placing wind equipment for a relatively small interval of time. In comparison with a steel mast of a similar height, the total cost of its installation and operation is lower. The X-cross brace for steel towers from 50 to 60 m in height is more rational than the K-brace. Herewith, its usage decreases the construction cost almost by half. Taking into account the possibility of transportation, the separation of the steel tower into assembly units of 8-10 m in length is the most effective. **Originality.** The authors proposed the method for estimating the economic efficiency of choosing a mobile altitude structure depending on the natural and climatic conditions of the terrain. In accordance with this method, the most rational type of altitude structure is determined taking into account its mobility. **Practical value.** Application of the proposed approaches and the solutions allows reducing the time required for calculations in design practice and also more reasonably approaching the choice of design solutions for altitude structures.

Keywords: altitude structure; mast; tower; Lira software; finite element method

REFERENCES

1. Bannikov, D. O., & Guslistaja, A. E. (2011). Korrektirovka rezultatov rascheta napryazheniy po MKE metodom HSS. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, 38, 134-141. (in Russian)
2. Bannikov, D. O., & Guslistaja, A. E. (2011). Otsenka skhodimosti napryazheniy v slozhnykh metallokonstruktsiyakh metodom konechnykh elementov. *Metallurgical and Mining Industry*, 4, 93-96. (in Russian)
3. Bannikov, D. O. (2017). Otsinka praktychnoi zbizhnosti rezultativ analizu plastynchastykh modelei v metodi skinchenykh elementiv. *Novi tekhnologii v budivnytstvi*, 32, 26-31. (in Ukrainian)
4. Vodopyanov, R. Y., Titok, V. P., & Artamonova, A. E. (2014). *Programmnyy kompleks Lira-SAPR 2014. Rukovodstvo polzovatelya. Obuchayushchie primery*. Moscow. (in Russian)
5. Systema nadiinosti ta bezpeky v budivnytstvi. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia, 70 DBN B.1.2-2-2006 (with changes) (2007). (in Ukrainian)
6. Loginov, V. F. (2012). *Radiatsionnye faktory i dokazatel'naya baza sovremennykh izmeneniy klimata*. Minsk: Belaruskaya navuka (in Russian)
7. Luchitskaya, I. O., Belaya, N. I., & Arbuzov, S. A. (2014). *Klimat Novosibirskaya i ego izmeneniya*. Novosibirsk: SO RAN Publisher. (in Russian)
8. Brönnimann, S. (2015). The Machinery: Mechanisms Behind Climatic Changes. *Climatic Changes Since 1700*, 55, 71-166. doi.org/10.1007/978-3-319-19042-6_3. (in English)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

9. Dow, J. O. (2015). *A Concise Overview of the Finite Element Method*. New York: Momentum Press. (in English)
10. Ebrahimi, F. (2012). *Finite Element Analysis-New trends and Developments*. London: InTech. doi: 10.5772/3352. (in English)
11. Zhuang, Z., Liu, Z., Cheng, B., & Liao, J. (2014). Extended Finite Element Method. *In Overview of Extended Finite Element (pp. 1-12)*. Amsterdam. doi.org/10.1016/b978-0-12-407717-1.00001-7. (in English)
12. Gatica, G. N. (2014). *A Simple Introduction to the Mixed Finite Element Method. Theory and Application*. Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-03695-3. (in English)
13. Liu, G. R. (2014). *The Finite Element Method. A Practical Course*. Amsterdam: Elsevier LTD. doi.org/10.1016/b978-0-08-098356-1.00014-x. (in English)
14. Vear, F. (2016). Changes in sunflower breeding over the last fifty years. *OCL*, 23,2, 1-8. doi: 10.1051/ocl/2016006.doi.org/10.1051/ocl/2016006. (in English)

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. В. Радкевичем (Україна)

Надійшла до редколегії: 11.12.2017

Прийнята до друку: 12.03.2018