

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.014

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОПОРНИХ ПЛАТФОРМ НА ФЛЮГЕРАХ З ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ “LIRA 9.4”

В.О. Попов

Вступ

Відомо, що на даний момент в усьому світі збільшується попит на пересувні башти-атракціони, що влаштовуються без стаціонарного фундаменту [1–8]. Металевий каркас таких споруд складається з призматичного стрижневого гратчастого стовбура та опорної платформи (рис. 1,а), б). Такі споруди повинні бути архітектурно виразними, максимально жорсткими та надійними, і, водночас для здешевлення перевезення та монтажу, – легкими та транспортабельними. Транспортабельність башт-атракціонів забезпечується в основному розбірністю їх основних елементів, легкість конструкції – раціоналізацією конструктивних схем та використанням якісних сталей.

Проаналізувавши літературні джерела [1 – 4, 10], можна зробити висновок, що вітчизняні та закордонні інженери і науковці Сераваллі, Л. Петріс, Е. Дзафонато, А.В. Перельмутер, С.І. Білик приділяють увагу в основному раціоналізації конструкції стовбура, у той же час опорні платформи є недостатньо дослідженими. Окрім цього, численні аварії атракціонної техніки в Україні та країнах СНД вимагають удосконалення методів їх структурного аналізу та розрахунку.

Аналіз останніх досліджень

У наукових працях [4–8] виконано ґрунтовний аналіз існуючих на даний момент конструктивних різновидів опорних платформ, викладено їх переваги та недоліки. У [5], [7] та [8] методами будівельної механіки та аналітичного моделювання доведено, що раціональним з точки зору витрат металу та праці є конструктивне рішення опорної платформи у вигляді тригера, що складається з центрального жорсткого осердя та виносних лап (опорних балок) – флюгерів, причому найбільш раціональна платформа повинна містити чотири полярно симетричних флюгери. Однак у праці [5] виконане аналітичне моделювання для флюгерів з постійним по довжині перерізом, у той же час, згідно з рекомендаціями [9], доцільно виконувати флюгери у вигляді балки із змінним перерізом, що зменшує витрати металу на її виготовлення. Окрім цього, необхідно врахувати те, що згідно з вимогами російських норм [3, с. 11–13], які гармонізовані із європейськими нормами [2], при структурному аналізі (розрахунку стійкості розташування безфундаментних конструкцій башт-атракціонів під дією розрахункових навантажень) необхідно врахувати додатковий граничний стан – стійкість від припіднімання опор, однак у діючих на даний момент українських нормативах даний граничний стан відсутній.

Постановка проблеми

З огляду на вищезгадане, виникає наукова задача, що полягає у розробленні ефективних методів чисельного моделювання запропонованої у [5], [7] та [8] опорної платформи на чотирьох флюгерах на прикладі башти-атракціону “Шторм” (рис. 1,б) [8] з врахуванням додаткового граничного стану стійкості від припіднімання опор.

Основна частина

Опис напружено-деформованого стану запропонованої конструкції опорної платформи на флюгерах в загальному вигляді є неможливим і потребує прийняття низки припущень. Такі припущення є достатньо загальними для всіх металевих стрижневих будівельних конструкцій елементи яких працюють у пружній зоні та влаштовані на пружному ґрунті:

- метал, з якого виготовлені елементи конструкцій, є неперервним, однорідним та лінійно пружним;
- споруда, що сприймає зовнішні навантаження, деформується лінійно, причому переміщення,

що виникають у елементах конструкції, є малими у порівнянні з лінійними розмірами самих елементів [11];

- грунт приймався ізотропним, суцільним лінійно деформованим тілом, що сприймає разове завантаження.

Збір навантажень виконано із дотриманням вимог [13]. Під час чисельних досліджень на програмі “Lira 9.4” було проаналізовано напружено-деформований стан стовбура атракціону “Шторм” [10] висотою $H \sim 13$ м, що влаштований у III вітровому районі. При цьому виявлено, що від стовбура башти на опорну платформу при найбільш не вигідній розрахунковій комбінації навантажень, складених згідно з вимогами норм [1, 2, 3], передаються такі силові фактори:

- при лобовому напрямку вітру:

$$N_{A-A} = 125 \text{ кН}; M_{A-A} = 29,75 \text{ кН} \cdot \text{м}; Q_{A-A} = 4,27 \text{ кН};$$

- при діагональному напрямку вітру:

$$N_{A-A} = 125 \text{ кН}; M_{A-A} = 30,75 \text{ кН} \cdot \text{м}; Q_{A-A} = 4,33 \text{ кН}.$$

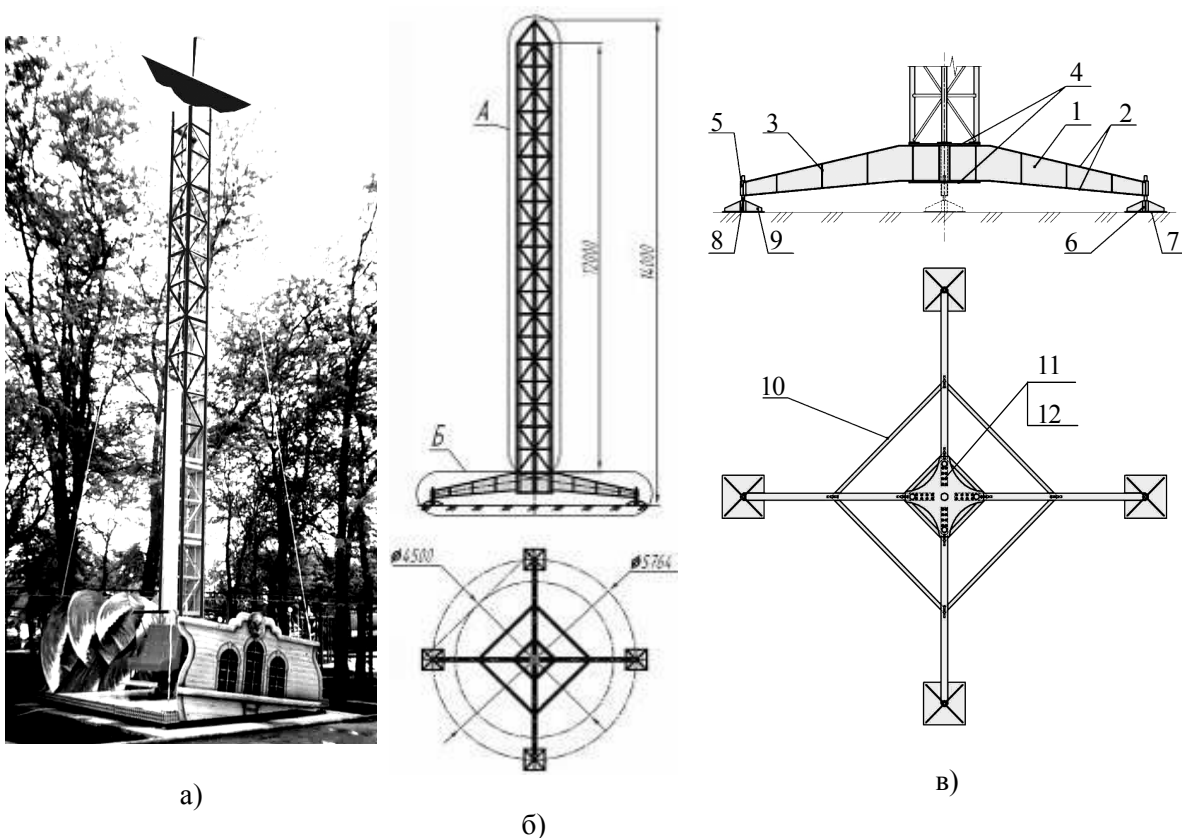


Рис. 1. Атракціон “Шторм”: а – фотографія існуючої конструкції, б – конструктивне рішення металоконструкції башти з запропонованою у [6] опорною платформою на чотирьох флюгерах, в – запропонована платформа, де: 1 – стінка балки; 2 – полиці балки; 3 – ребра жорсткості; 4 – діафрагма; 5 – втулка з різьбою; 6 – втулка; 7 – пластина; 8 – гвинт; 9 – ребро; 10 – зв’язки; 11 – болт; 12 – гайка

Конструкція платформи зображена на рис. 1, в. Вона складається з двох діафрагм, що являють собою листові конструкції, підсилені ребрами жорсткості, до яких, з допомогою болтових з’єднань, приєднано чотири опорні балки – флюгери двотаврового перерізу, що збільшує свою висоту від діафрагми до опори. Опорні елементи флюгерів являють собою циліндричні втулки із

внутрішньою упорною різьбою, які передають навантаження на регульовальні опорні болти, а ті, в свою чергу, через опорні п'яти – на ґрунт.

Оскільки призначення опорної платформи для башти-атракціону пов'язане із функцією посадки пасажирів, на її конструкцію здійснює додатковий тиск спеціальний поміст, окрім цього, для забезпечення стійкості від перекидання згідно з вимогами, викладеними у [5 – 8], платформу додатково привантажують. Таким чином на флюгери платформи здійснює вплив додаткове зовнішнє, у першому наближенні – рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю q_4 :

$$q_4 = 0,75 \cdot N_{A-A} / (4 \cdot L^{\phi}_i), \quad (1)$$

де L^{ϕ}_i - довжина флюгера при їх $i - \text{й}$ кількості, що визначається за методикою, викладеною у [5].

Виходячи із співвідношення (1):

$$q_4 = 0,75 \cdot 12,5 \text{ кН} / (4 \cdot 2,882 \text{ м}) = 0,813 \text{ кН} / \text{м}.$$

З допомогою програми програмного комплексу “Lira 9.4” створена кінцево-елементна пластинчаста модель конструкції (рис. 2,в) без ребер жорсткості.

При моделюванні враховано взаємодію зі слабким пружним ґрунтом (модуль пружності $E_p = 9 \text{ МПа}$) із наданням опорам можливості відриву від його поверхні та ковзанням (односторонні в'язі). Опір ковзанню платформи по ґрунту визначено згідно з рекомендаціями, викладеними у [1 – 3, 12]. Момент M_{A-A} змодельований у вигляді пари сил, що передаються від стояків стовбура башти до платформи (рис. 2). Коефіцієнти постелі визначені за [11]. З'єднання між діафрагмами та двотавровими флюгерами пружно-піддатливе. Коефіцієнт піддатливості визначений, виходячи з конструкції болтового поля.

Результати виконаних на програмному комплексі “Lira 9.4” розрахунків наведено на рис. 3. Чисельні результати свідчать, що умова міцності, жорсткості та стійкості для даної платформи виконується, тобто її конструкція є достатньо надійною. Аналіз еквівалентних напружень (рис. 3, б, рис. 3, д) показує, що як при лобовому так і при діагональному напрямку вітрового навантаження максимальні еквівалентні напруження зосереджені у середині стояка флюгера безпосередньо під діафрагмою ($\sigma_{екв}^{лоб} = 45 \text{ МПа}$, $\sigma_{екв}^{diag} = 63 \text{ МПа}$). Порівняно великі еквівалентні напруження спостерігаються також у верхній та нижній полиці підвітряних флюгерів. Таким чином виникає потреба у підсиленні даних ділянок шляхом введення додаткових вертикальних ребер жорсткості.

Аналіз деформацій конструкції (дивись рис. 3, в, рис.3, е) доводить, що при діагональному напрямку вітрового навантаження відрив опорної точки навітряного флюгера відбувається набагато раніше, аніж при лобовому, причому умова стійкості від перекидання виконується. Для лобового напрямку вітрового навантаження відрив опорних точок від поверхні супроводжується перекиданням конструкції.

В діафрагмі опорної платформи (як верхній, так і нижній) наявні великі згинальні моменти на ділянках приєднань флюгерів (рис. 3, а, рис. 3, г), що призводить до необхідності їх конструктивного підсилення.

Центральна частина верхньої діафрагми платформи завантажена стискальними внутрішніми зусиллями, в той же час центральна частина нижньої діафрагми – розтяжними. Звідси випливає, що товщина верхньої діафрагми повинна бути більшою аніж нижньої для уникнення втрати стійкості.

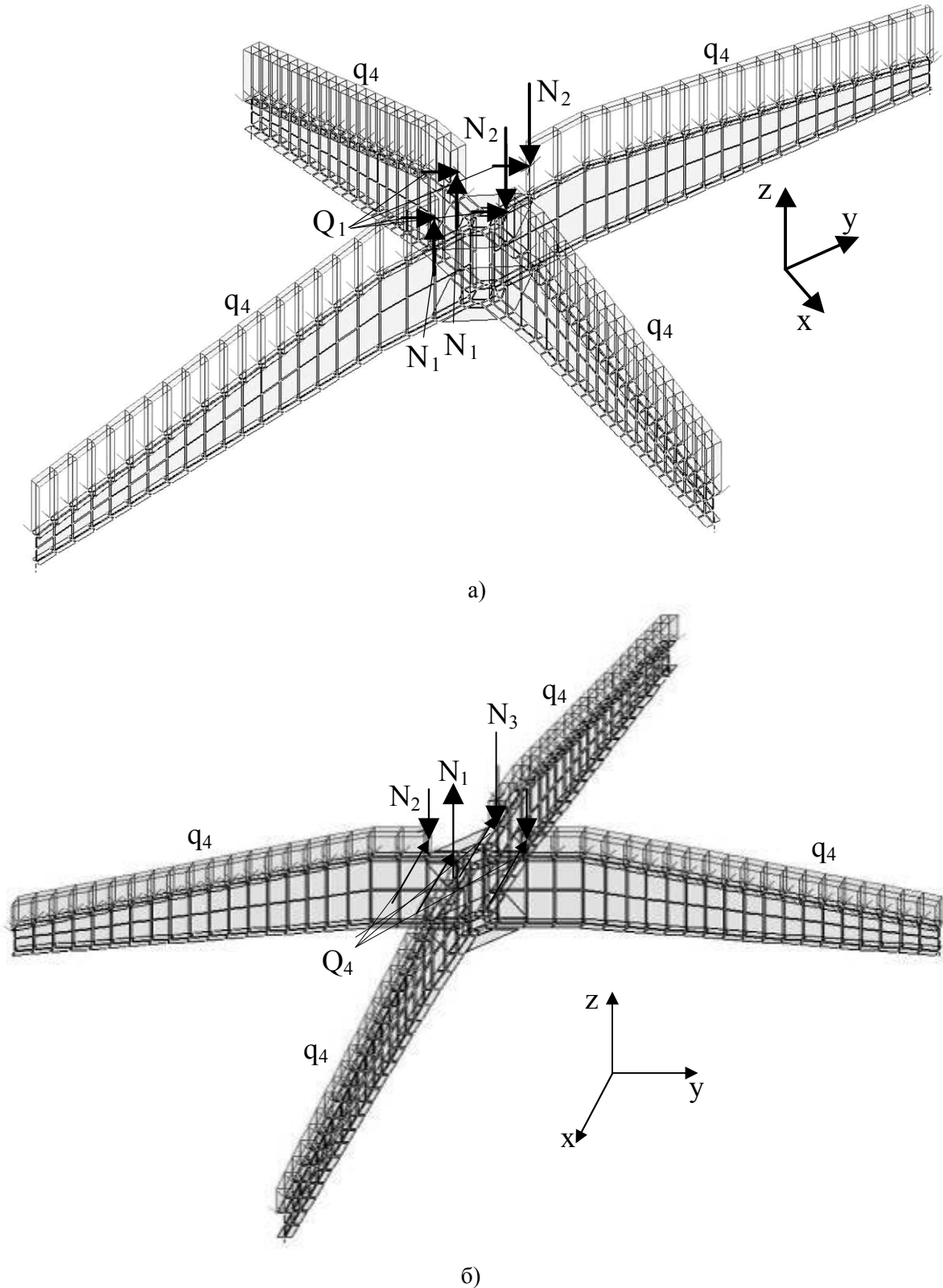


Рис. 2. Розрахункова схема платформи на флюгерах на пружному ґрунті:
 а – лобовий напрямок вітру; б – діагональний напрямок вітру

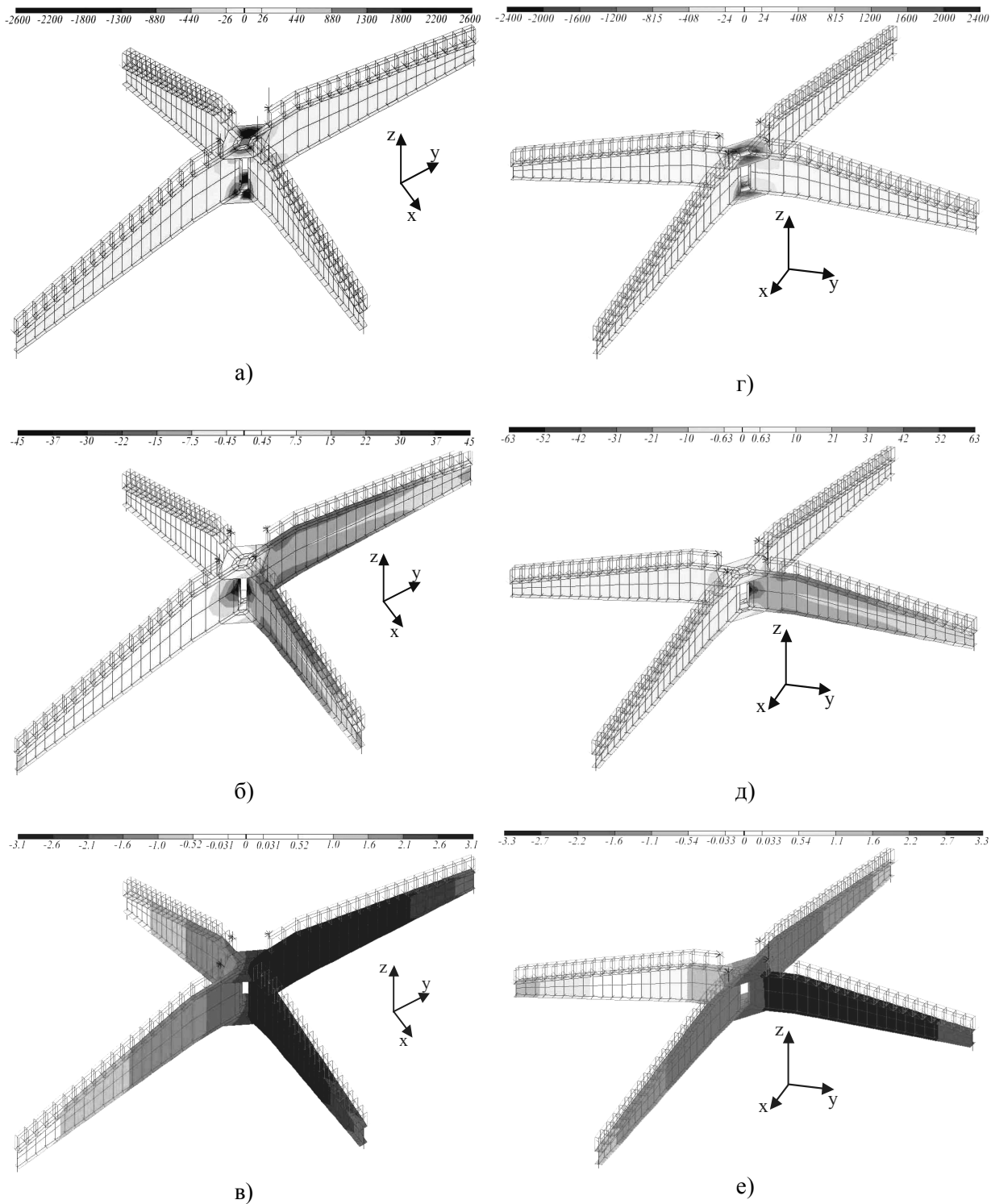


Рис. 3. Напружено-деформований стан платформи на пружному ґрунті. Лобовий напрямок вітру: а – ізополі моментів M_{xy} , б – ізополі еквівалентних напружень за 3 теорією міцності, в – ізополі деформацій по Oz . Діагональний напрямок вітру: г – ізополі моментів M_{xy} , д – ізополі еквівалентних напружень за 3 теорією міцності, е – ізополі деформацій по Oz

Висновки

Виходячи з результатів досліджень напружено-деформованого стану опорної платформи на чотирьох флюгерах під дією розрахункових навантажень від стовбура башти-атракціону можна зробити такі висновки:

- набув подальшого розвитку метод аналізу напружено-деформованого стану безфундаментних

- конструкцій під дією розрахункових навантажень;
- шляхом аналізу еквівалентних напружень у елементах опорної платформи для лобового та діагонального напрямку вітрового навантаження визначено найбільш небезпечні ділянки, які потребують особливої уваги під час конструювання;
 - доведено, що при діагональному напрямку вітрового навантаження конструкція платформи досягає граничного стану другої групи, що характеризується відривом однієї з опор від ґрунту ($M_{кр}^1 = 30,80 \text{ кН} \cdot \text{м}$) набагато раніше, аніж втрачає стійкість рівноваги ($M_{кр}^2 = 56,74 \text{ кН} \cdot \text{м}$, див. [6, 8]).

Список літератури

1. Аттракционы механизированные. Конструкции стальные: ГОСТ 29166-91. – [Введ. 1992-07-01]. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 44 с. – (Государственный стандарт).
2. Fairground and amusement park machinery and structures EN 13814 – Safety. December 2004 – 200 р. – (Європейські норми).
3. Безопасность аттракционов механизированных. Основные положения по проектированию стальных конструкций: ГОСТ Р 52170-2003. – [Введ. 2005-01-01] – Госстандарт России, 2005. – 78 с. – (Государственный стандарт Российской федерации).
4. Свердлов В.Д. Металеві баштові споруди з високим ступенем співосності несучих елементів: [Монографія] / В. Свердлов, В. Попов – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 141 с.
5. Попов В.О. Аналітичне моделювання напружено-деформованого стану опорних платформ на флюгерах без фундаментних башт-атракціонів для раціонального проектування / В.О. Попов // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. [Науково-технічний збірник]. Вінниця, ВНТУ – 2007 – №4. – С. 7–19.
6. Попов В.О. Стійкість від перекидання без фундаментних башт-атракціонів / В.О. Попов // Армування основ при будівництві та реконструкції будівель. [Міжвідомчий науково-технічний збірник]. Київ, НДІБК – 2007 – №66. – С. 318–328.
7. Попов В.О. Конструкції опорних платформ башт-атракціонів без стаціонарного фундаменту / В.О. Попов // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. [Науково-технічний збірник]. Вінниця, ВНТУ – 2006 – №3. – С. 11–17.
8. Попов В.О. Безфундаментні башти-атракціони з високоточним стовбуром: автореф. дис. На здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди.” / В.О. Попов. – Київ, 2007. – 20 с.
9. Білик С.І. Дотичні напруження в металевих балках із змінною висотою стінки / С.І. Білик // Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівлі та споруди. Рівне – 2004 – №11. – С. 133–140.
10. Атракціон “Шторм”. Технічні умови. ТУ У 36.6-13326217-017:2006 – Зареєстровано 20.03.2006 в Держстандарт України; [Чинний від 2006-03-20] – 66 с. – (Технічні умови України).
11. 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.
12. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) / [Под общ. ред. Е.А. Сорочана] НИИОСП им. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1986. – 415 с.
13. 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).

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