



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

№3, ТОМ 13 (2007) 143-150

УДК 624.014

(07)-0141-0

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВИСОКОТОЧНОГО З'ЄДНАННЯ БАШТ-АТРАКЦІОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ "COSMOS" ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ

В.О. Попов

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

Отримана 21 травня 2007; прийнята 18 червня 2007

Анотація. У статті проведено аналіз конструктивних рішень міжсекційних вузлових з'єднань сучасних башт-атракціонів, виявлено доцільність використання оригінального високоточного роз'ємного вузлового з'єднання на втулках та запірному штифті як більш раціонального, ніж класичне фланцеве з вибірками, розглянуто моделювання напружено-деформованого стану цього вузлового з'єднання під дією зусиль розтягу з використанням сучасних програмних комплексів "Cosmos-2004" та "Lira 9.0". Шляхом аналізу еквівалентних напружень усіх елементів з'єднання для різних конструктивних параметрів виявлено найбільш раціональну конструктивну форму з'єднання. Виконано верифікацію програмного комплексу "Cosmos-2004", доведена адекватність результатів, отриманих на ньому, та раціональність його використання для аналізу напружено-деформованого стану елементів будівельних конструкцій при роботі на розтяг у порівнянні з програмним комплексом "Lira 9.0".

Ключові слова: високоточне роз'ємне вузлове з'єднання, напружено-деформований стан, еквівалентні напруження.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ БАШЕН-АТТРАКЦИОНОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ "COSMOS" ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ

В.А. Попов

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

Получена 21 мая 2007; принята 18 июня 2007

Аннотация. В статье проведен анализ конструктивных решений межсекционных узловых соединений современных башен-аттракционов, выявлена рациональность использования оригинального высокоточного разъемного соединения на втулках и запирном штифте как более рационального, чем классическое фланцевое с выборками, рассматривается моделирование напряженно-деформированного состояния этого соединения под действием растягивающих нагрузок с использованием современных программных комплексов "Cosmos-2004" и "Lira 9.0". Путем анализа эквивалентных напряжений для различных конструктивных параметров элементов соединения выявлена наиболее рациональная конструктивная форма соединения. Выполнено верификацию программного комплекса "Cosmos-2004",

доказано, что результаты, полученные с его помощью, адекватны, доказано также, что использование этого комплекса для анализа напряженно-деформированного состояния элементов строительных конструкций в сравнении с программным комплексом "Lira 9.0" является более рациональным.

Ключевые слова: высокоточное разъемное узловое соединение, напряженно-деформированное состояние, эквивалентные напряжения.

SIMULATION OF A DEFLECTED MODE OF A HIGH-PRECISION JOINING OF AMUSEMENT-TOWERS WITH THE HELP OF THE PROGRAM "COSMOS-2004" TO OPTIMIZE THE STRUCTURE

V.O. Popov

*Vinnitsa National Technical University,
7, Warriors-Internationalist st., 21021, Vinnitsa, Ukraine.
E-mail: xvivix@mail.ru*

Received 21 May 2007; Accepted 18 June 2007

Abstract. There is given an analysis of constructive decisions of intersectional angle joints of modern amusement towers, there is shown a rationality of using an original high-precision detachable joining on bushes and a deadbolt as a more rational joining than the classic flange joint, there is considered a modeling of a deflected mode of this joint under tensile loads with the use of the modern program complexes "Cosmos-2004" and "Lira 9.0". Having analyzed equivalent tensions for different structural parameters of the joint elements, we found the most efficient constructive form of joining. "COSMOS-2004" has been verified, and it was proved that the results obtained with its help are adequate, it was also proved that the use of this complex to analyze the deflected mode of steel structure elements in comparison with the complex "Lira 9.0" is more rational.

Keywords: high-precision detachable knot joint, deflected mode, reduced stresses.

Вступ

На даний момент в світі отримали широке розповсюдження башти-атракціони, що влаштовуються без стаціонарного фундаменту. Конструкція таких споруд складається зі стовбура, опорної платформи. Вздовж стовбура башт-атракціонів здійснює рух ліфтова кабіна з пасажирями, тому дані споруда на відміну від класичних телекомунікаційних баштових споруд, повинні мати високу точність напрямних елементів, роль яких часто виконують основні несучі стійки [13]. Тому важливим і актуальним є пошук нових раціональних конструктивних рішень високоточних міжсекційних вузлових з'єднань [3, 10, 11, 13].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Провівши аналіз сучасних конструктивних рішень міжсекційних вузлових з'єднань башт-атракціонів виробників SBF-VISA Group,

Preston&Barbieri, S&S Power inc. [13] та нормативів [4, 6 – 8, 14, 15, 18 – 20], у [11] було запропоновано високоточне роз'ємне з'єднання на втулках і запірному штифті (рис. 1), проведено аналітичний аналіз напружено-деформованого стану основних елементів з'єднання методами опору матеріалів та розроблена методика підбору геометричних співвідношень між основними елементами вузла з точки зору раціонального проектування.

Згідно з [11] вузол складається з таких конструктивних елементів: трубчастих несучих елементів (1), що необхідно з'єднати між собою з високою точністю; вставки-пальця (2) та відповідної вставки-втулки (3), що з'єднують з несучими трубами за допомогою зварювання; додатково для збільшення зчеплення вставок (2) та (3) до труб (1) можна влаштувати несучі електрозаклепки (5). Зварювальні шви рекомендовано зачистити шліфувальними машинками

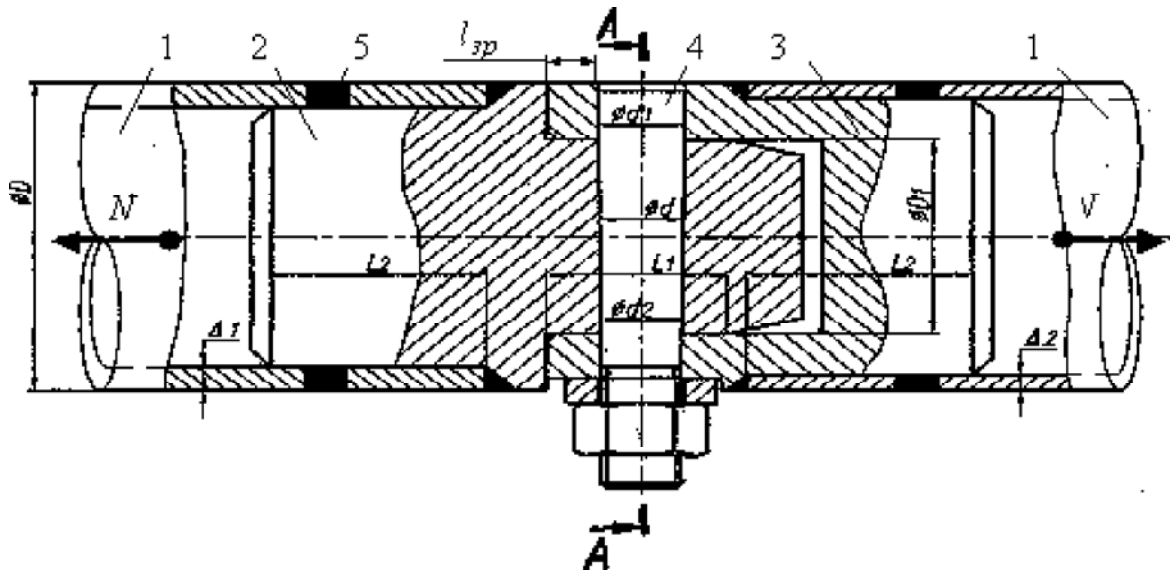


Рис. 1. Схема запропонованого у [5] з'єднання, де: 1 – несучі труби, 2 – вставка-палець, 3 – вставка-втулка, 4 – конічний штифт, 5 – електрозаклепки.

врівень. Вставка-палець містить циліндричний палець з конічним хвостовиком для полегшення збирання-розбирання секцій башти. Пальцю відповідає аналогічний циліндричний паз на вставці-втулці. Конічний штифт (4) служить фіксуючим пристроєм. Його рекомендовано виготовляти із якісних легованих сталей з високою поверхневою твердістю та міцністю. Затяжка штифта здійснюється гайкою. У [11] рекомендовано також додатково шплінтувати гайку для уникнення можливого розкручування.

Для правильного розуміння роботи з'єднання в зборі на розтяг проведених у [11] досліджень не достатньо. Невідомими залишаються розподіл еквівалентних напружень по елементах вузла, розподіл коефіцієнтів запасу міцності. Тому важливим і актуальним є розробка моделі напружено-деформованого стану вузла методами кінцевих елементів на відповідних програмних комплексах.

У сучасній інженерно-будівельній практиці широко використовується чисельне моделювання складних будівельних конструкцій, їх елементів та вузлових з'єднань з допомогою різноманітних програмних продуктів, у яких так чи інакше реалізований метод кінцевих елементів. Серед таких програм найбільш відомою в Україні є "Lira 9.0". Даний програмний продукт, поряд із численними позитивними рисами має і негативні, серед яких головний – слабкий

інструментально-графічний інтерфейс для створення самих об'єктів [12]. Ця програма може запозичувати об'єкти з інших спеціалізованих графічних оболонок, наприклад, AutoCAD, однак запозиченню підлягають лише стрижневі та плоскі елементи, хоча реальні конструкції складаються з об'ємних елементів. Алгоритм моделювання напружено-деформованого стану будь-якої конструкції з допомогою цих програм зображений на рис. 2.

Виходячи з даного алгоритму, обов'язкові процедури 1...3, 5, 6 виконуються користувачем, причому потребують високого рівня знань основ чисельних методів, інженерної підготовки.

Постановка проблеми

Виходячи з попередніх міркувань, шляхом аналізу конструктивних особливостей запропонованого з'єднань, необхідно виконати моделювання запропонованого у [11] вузлового з'єднання на програмному комплексі "Cosmos-2004", удосконалити розроблений у [11] метод вибору його геометричних параметрів з точки зору раціонального проектування, на прикладі даного з'єднання довести більшу ефективність використання програми "Cosmos-2004" для моделювання напружено-деформованого стану елементів будівельних конструкцій складної конфігурації у порівнянні з "Lira 9.0".



Рис. 2. Алгоритм моделювання напружено-деформованого стану конструкції на програмі "Lira 9.0", де процедури 1, 2, 3, 5, 6 виконуються користувачем; процедура 4 – розрахунковою програмою; процедури 7, 8 – виконуються користувачем у випадку раціоналізації конструкції.

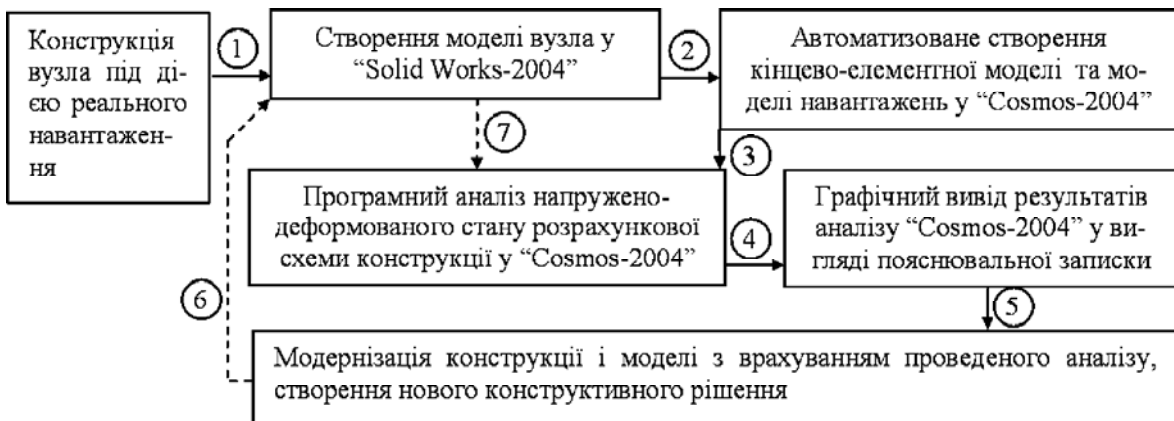


Рис. 3. Алгоритм моделювання напружено-деформованого стану конструкції на програмі "Cosmos-2004", де процедури 1, 5, 6 виконуються користувачем; процедури 3, 4, 7 – розрахунковою програмою; процедури 6, 7 – виконуються у випадку раціоналізації конструкції.

Основна частина

Пропонується високоточне міжсекційне вузлове з'єднання башт-атракціонів, несучі стійки яких виконані з круглих труб. Згідно з [11] воно володіє низкою кількісних та якісних переваг у порівнянні з існуючими: меншою металомісткістю (на 50 – 60%) та меншими витратами праці на виготовлення (на 50 – 60%); більшою зручністю при монтажі; більшою естетичністю (не містить виступаючих елементів); гарантує високу точність з'єднання ($\pm 0,1$ мм). Цей вузол подібний до з'єднань валів машинних приводів [2, 9], де необхідно передавати крутні моменти, тільки у

випадку влаштування з'єднання (рис. 2) на баштових конструкціях, воно працює, головним чином, на сприйняття зусиль розтягу-стиску.

Моделювання напружено-деформованого стану з'єднання при розтязі-стиску

До вузлового з'єднання примикають несучі труби зовнішнім діаметром D та товщиною стінок відповідно Δ_1 та Δ_2 (причому $\Delta_1 \geq \Delta_2$). Припускаємо, що вузол буде володіти достатньою міцністю, якщо він буде сприймати навантаження не менші за навантаження, що може сприйняти найбільш потужна труба,

що примикає до цього вузла. З'єднання виконано на конічному штифті з малою конусністю (від 1:50 до 1:25) згідно з [2, 9]. Найбільш небезпечним при роботі на розтяг є переріз А-А. При роботі на стиск в основному працює розвинутий буртик на вставках. Необхідно визначитися з діаметром конічного штифта d , та діаметром циліндричного пальця та відповідного паза D_1 .

Докладна аналітична модель напружено-деформованого стану даного вузла, що працює на різні види навантажень (розтяг-стиск, згин, закручування), приведена у [11]. Дані, що отримані за цією моделлю, при роботі на розтяг для труби $D = 38$ мм і товщиною стінки $\Delta_1 = 3$ мм та вставок, виготовлених із сталі 10 та штифта із сталі 40Х з термічною обробкою до HRC ~ 48, приведено у табл. 1.

Фактична несуча здатність вузлового з'єднання обмежується виникненням зони текучості. Однак межа руйнування такого з'єднання є значно більшою. У табл. 2 приведено величину несучої здатності запропонованого з'єднання при розтязі та прогнозований характер руйнування.

Моделювання напружено-деформованого стану з'єднання при розтязі-стиску на програмі "Cosmos-2004"

Модель вузла виконаємо засобами графічного пакету "Solid Works-2004", використовуючи

дані табл.1. Модель роботи вузла на розтяг виконаємо на програмі "Cosmos-2004", алгоритм роботи з яким приведено на рис. 3 [1, 16, 17].

Аналізуючи рис. 3 та рис. 2 можна зробити висновок, про більшу ефективність програми "Cosmos-2004" у порівнянні з "Lira 9.0" через більшу кількість автоматизованих процедур у алгоритмі та більш потужний інструментально-графічний інтерфейс для створення об'ємних кінцево-елементних моделей для аналізу напружено-деформованого стану конструкцій.

Результати моделювання під навантаженням розтягу 53 кН, що складає близько 50% від руйнівного, приведено на рис. 4 і рис. 5. Основні чисельні результати для основних елементів співпадають з аналітичними, що проведені у [11]. Виявлено наявність концентратора напружень на переході від частини вставки-пальця з меншим діаметром до більшого (недостатній радіус заокруглення, що вибраний із конструктивних міркувань). Шляхом збільшення радіуса переходу з R=1 мм до R=2,5 мм напруження зменшено на 90% (рис. 5,6).

Побудовано ізополю коефіцієнтів запасу міцності елементів з'єднання, використовуючи вбудовані у "Cosmos-2004" процедури. Підтверджено аналітичні дослідження, що проведено у [11], а саме теза про те, що найменшим коефіцієнтом запасу міцності на розтяг буде володіти труба.

Час моделювання даного вузла, генерації кінцево-елементної моделі та час розрахунку не перевищує 4 годин, у той же час для виконання

Таблиця 1. Залежність геометричних параметрів запропонованого вузла від характеристик труби (див. рис. 1).

Для труби, мм		Для штифтів		Для вставки			
D	Δ_1	d_{\min} , мм	Кількість n , шт.	$D_{1\min}$, мм	$D_{1\max}$, мм	Σl_{zp}^{\min} , мм	Перевірка на зминання
38	3	9,28	1	27,26	32	2	виконано

Таблиця 2. Несуча здатність запропонованого з'єднання.

Параметри труби, мм (Сталь 10)		Параметри штифта (Сталь 40Х)		Руйнівне зусилля (розтяг), кН		Характер руйнувань
D	Δ_1	d , мм	n , шт	труби	штифта	
38	3	9,3	1	112	122	По трубі

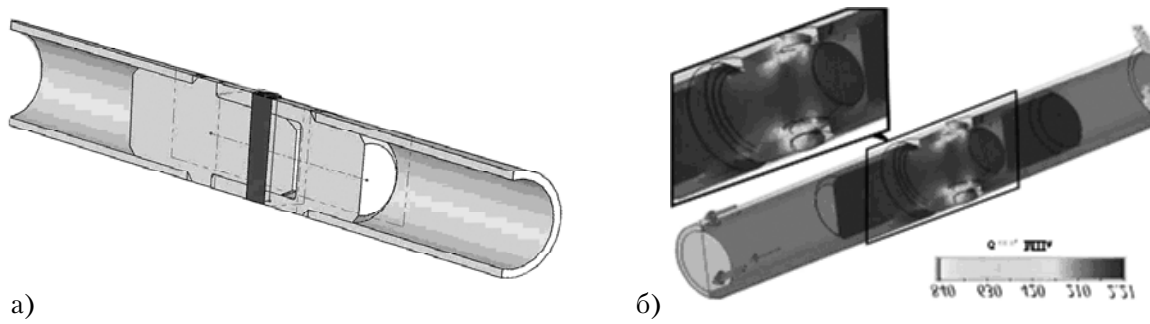


Рис. 4. Модель напружено-деформованого стану запропонованого вузла при розтязі на програмі “COSMOS”: а – переріз розрахункової схема вузла для з’єднання труб $\varnothing 32$ мм, що складається з 113714 об’ємних кінцевих елементів, згенерованих “COSMOS” автоматично, б – розподіл напружень при зусиллі розтягу 53 кН.

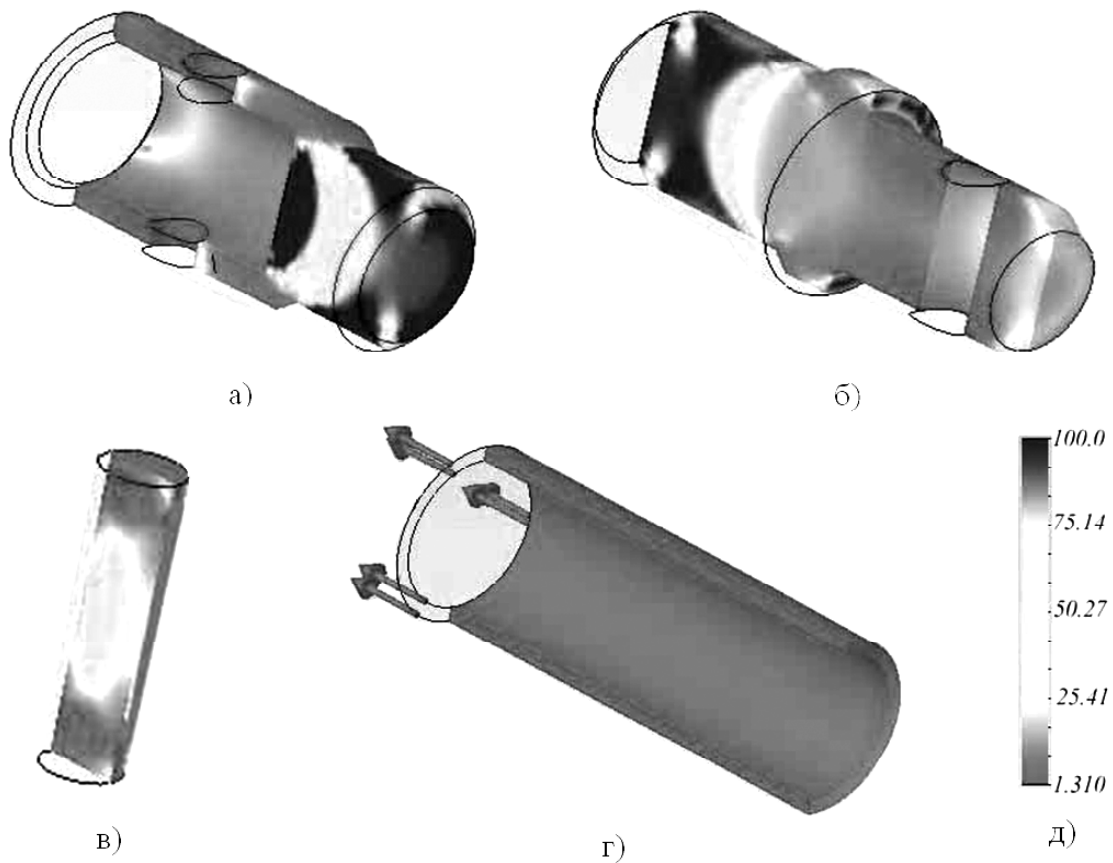


Рис. 5. Розподіл коефіцієнтів запасу міцності елементів запропонованого вузла: а – вставки-втулки, б – вставки-пальця, в – штифта, г – труби, д – шкала.

подібних розрахунків на “Lira 9.0” знадобилось 36 годин. Всі чисельні розрахунки узагальнені у вигляді автоматично сформованої пояснюваль-

ної записки, що виконана згідно з діючими в Україні нормами [5] по оформленню.

Висновки

Аналізуючи результати аналітичних та чисельних досліджень на програмному комплексі "Cosmos-2004" напружено-деформованого стану запропонованого з'єднання на втулках та запірному штифті, що працює на розтяг, можна зробити такі висновки:

1. Набув подальшого розвитку метод аналізу напружено-деформованого стану роз'ємних з'єднань будівельних конструкцій, а саме запропонованих у [11] вузлів на вставках та запірному штифті.
2. Представлено рекомендації по збільшенню радіуса спряження ділянок вставки-пальця з меншим та більшим діаметром для зменшення локальних напружень для інженерних цілей.
3. Виконано верифікацію програми "Cosmos-2004" на конкретному вузловому з'єднанні та доведено її більшу ефективність для моделювання напружено-деформованого стану вузлів будівельних конструкцій складної конфігурації у порівнянні з "Lira 9.0". Рекомендується використовувати даний програмний продукт у інженерно-будівельній практиці.

Література

1. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks Инженерный анализ методом конечных элементов . – М.: ДМК Пресс, 2004 . – 432 с.
2. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т.1. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 728 с.
3. Білик А.С. Вибір оптимальних конструктивних рішень при аналізі якісних умов проектування// Будівельні конструкції. Зб. наук. праць.– Вип.63 – Київ, НДІБК, 2005. – С.335–340.
4. ГОСТ 13556-91. Краны башенные строительные. Общие технические условия. Взамен ГОСТ 13556-75; Введ. 01.07.1992.–М.: Издательство стандартов, 1992.– 52 с.
5. ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. Введ. 01.07.1997 Держстандартом України.–Издательство стандартов, Минск 1995 – 37 с.
6. ГОСТ 29166-91. Атракционы механизированные. Конструкции стальные. – Введ. 01.07.92. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 44 с.
7. ГОСТ Р 52170-2003. Безопасность аттракционов механизированных. Основные положения по проектированию стальных конструкций. – Введ. 01.01.2005 – Госстандарт России, 2005. – 78 с.
8. НПАОП 92.7-1.01-06. Правила будови і безпечної експлуатації атракціонної техніки. (На заміну НАОП 9.3.10-1.05-91 "Правила техники безопасности и производственной санитарии при эксплуатации парковых аттракционов", затвердженого Мінкультури СРСР 15.01.91; НАОП 9.3.10-2.01-88 "ОСТ 43-30-88 Атракционы. Общие требования безопасности", затвердженого Мінкультури СРСР 27.07.88). Зареєстровано 07.04.2006 за №405/12279 в Міністерстві юстиції України.– Київ, 2006. – 215 с.
9. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 2. Под ред. П.Н. Учаева. – 3-е изд., исправл. – М.: Машиностроение, 1988.–544с.
10. Пермяков В.А. Современное состояние проблемы оптимального проектирования стальных конструкций// Металеві конструкції.– №1–1998.– С.17–20.
11. Попов В.О. Безфундаментні башти-атракціони з високоточним стовбуром: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Київ, 2007. – 20 с.
12. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций "Лира" версия 9.0. Руководство пользователя. Книга 1. Основные теоретические и расчетные положения. Некоторые рекомендации. НИИАСС.–Киев, 2002. – 147 с.
13. Свердлов В.Д., Попов В.О. Металеві баштові споруди з високим ступенем співносності несучих елементів. Монографія.–Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.–141 с.
14. ТУ У 13326217.004 – 2001. Атракціон – башня с прямолинейным подъемом до 50 м. Технические условия – Зареєстровано 19.06.2001 в Держстандарт України; введ. 20.06.2001 – 65 с.
15. ТУ У 36.6-13326217-017:2006 Атракціон "Шторм". Технические условия – Зареєстровано 20.03.2006 в Держстандарт України; введ. 20.03.2006 – 66 с.
16. <http://www.cadcom.ru/06/Info/index.html>. Кузнецов И. Статьи и обзоры по «COSMOS».
17. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. / А.А.Алямовский, А.А.Собачкин, Е.В.Одинцов и др. Издательство: "БХВ-Петербург". Санкт-Петербург. – 2006. – 799 с.
18. EN 13814 Fairground and amusement park machinery and structures – Safety. December 2004 – 200 p.
19. EN 292-1. Safety of Machinery – Basic Concepts, General Principles for Design; part 1: basic terminology, methodology. EN 292-1:1991. – 59 p.
20. EN 292-2. Safety of Machinery – Basic Concepts, General Principles for Design; part 2: technical principles and specifications. EN 292-2:1991. – 64 p.

Попов Володимир Олексійович є асистентом кафедри «Промислове та цивільне будівництво» Вінницького національного технічного університету. Наукові інтереси: споруди без стаціонарного фундаменту, надійність розважальних атракціонів, висотні металеві башти, раціональні високоточні роз'ємні з'єднання.

Попов Владимир Алексеевич является ассистентом кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Винницкого национального технического университета. Научные интересы: сооружения без стационарного фундамента, надежность развлекательных аттракционов, высотные металлические башни, рациональные высокоточные разъемные соединения.

Popov Volodymyr Olekxiyovych is an assistant professor of the Department of Industrial and Civil Engineering at Vinnitsa State Technical University. His research interests include structures without stationary foundation, reliability of amusement attractions, metal towers, and rational high-precision detachable joints.