

*С.І. Білик, д.т.н., професор  
М.О. Бут, асистент*

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

## **ВПЛИВ ПОЧАТКОВИХ ПАРАМЕТРІВ МАСШТАБНОСТІ<sup>1</sup> РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, НА ПРИКЛАДІ КОНСОЛЬНОГО КОЛЕСА ОГЛЯДУ**

*Розглянуто особливості впливу масштабності розрахункової моделі на напружено-деформований стан конструкції залежно від типу апроксимації при незмінних початкових параметрах, на прикладі колеса огляду в Технологічному університеті м. Батумі, Грузія.*

**Ключові слова:** МСЕ, колесо огляду, розрахунок, напружено-деформований стан, чисельні дослідження

*С.И. Билык, д.т.н., профессор  
М.А. Бут, ассистент*

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

## **ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАСШТАБНОСТИ РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, НА ПРИМЕРЕ КОНСОЛЬНОГО КОЛЕСА ОБОЗРЕНИЯ**

*Рассмотрены особенности влияния масштабности расчётной модели на напряженно-деформированное состояние конструкции в зависимости от типа аппроксимации при неизменных начальных параметрах, на примере колеса обозрения в Технологическом Университете г.Батуми, Грузия.*

**Ключевые слова:** МКЭ, колесо обозрения, расчёт, напряженно-деформированное состояние, численные исследования.

*S. Bilyk, ScD, Professor  
M. Booth, assistant*

*Kyiv National University of Construction and Architecture*

## **INFLUENCE OF INITIAL MAGNITUDE CALCULATION MODEL PARAMETERS ON THE STRESS-STRAIN STATE, THE EXAMPLE CONSOLE FERRIS WHEEL**

*The features of the influence of the magnitude of a computational model for the stress-strain state of the structure, depending on the type of approximation at constant initial parameters, on an example of the Ferris wheel at the Technological University of Batumi, Georgia.*

**Keywords:** FEM, ferris wheel, calculation, stress-strain state, numerical researches.

---

<sup>1</sup>Масштабність –це набір початкових параметрів у вигляді граничних умов та елементів, включених у розрахункову схему під час аналізу вузлів сполучення елементів залежно від суттєвості впливу на роботу конструкції.

**Вступ.** «Для інженера мистецтво вибору розрахункової схеми є надзвичайно важливим. Цьому мистецтву ніде спеціально не навчають. У програмах вищих технічних закладів і тим більш в університетських програмах немає таких курсів, таких дисциплін, де розглядалось би це питання концентровано і в належній мірі» [1]. Фактично з тих часів нічого не змінилося, окрім росту можливостей інженерів. Доступність ЕВМ, зростання потужностей та, як наслідок, розмірності розрахункової схеми вже перетворило будівельну механіку в експериментальну науку, хоч цей факт не усвідомлений у повній мірі. Такі наукові дисципліни, як планування експерименту і статистична обробка результатів експерименту, методи і прийоми, розвинені в них, а найголовніше — ідеологія цих дисциплін залишилися в стороні при стандартній підготовці інженера з розрахунку. А це призводить лише до того, що числова модель крок за кроком все далі відходить від свого фізичного прашура, для обслуговування якого вона і створювалась.

Звичайно в рамках потокового проектування будівельних конструкцій важко сподіватись на аналіз загальної моделі з урахуванням реальної геометрії, особливостей роботи вузлів та їх складових, фізичну та геометричну нелінійність роботи матеріалів і конструкцій. Усе це поступово призводить до формалізації схеми, і за рахунок коефіцієнтів запасу проектувальники намагаються компенсувати цю невизначеність. Такий підхід є загальноживаним для конструкції загалом і дозволяє знаходити достовірні результати, але є занадто короткозорим з точки зору роботи основних вузлів конструкції, від яких залежить загальна живучість будівлі чи споруди. Лише фізичне випробування або фізично-числове моделювання з просторових елементів спроможне показати нам дійсну роботу як складових елементів вузла, так і його роботу взагалі.

Треба звернути увагу на тенденцію в світі проектування та комп'ютерного моделювання. З появою і поширенням ВІМ-технології можливість створення реальної моделі конструкції стала більш ніж доступною за рахунок спрощення побудови, аналізу та створення замкненого циклу електронного проектування – видачі робочих креслень.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Останнім часом дослідження методології розрахунку, його вад та впливу ступеня можливостей ЕОМ на еволюцію моделі розглядалися низкою авторів таких як А.В. Перельмутер [2], А.С. Городецький [3] та ін.

Згідно з джерелом [2], числове моделювання можна поділити на наступні етапи:

- а) створення моделі;
- б) вибір програмного забезпечення;
- в) перевірка моделі;
- г) сам розрахунок;
- д) верифікація результатів.

Безпосередньо в рамках цієї статті розглядаються пункти б і д.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** У літературі робиться акцент на тому, що створення розрахункової моделі є творчим процесом, який недоцільно розглядати у цілому, а можна лише дискретно. Наприклад, теорія плоских перерізів у стрижневій моделі Бернуллі – Ейлера не працює там, де перестає виконуватись лінійна залежність між деформаціями та навантаженнями за законом Гука. І таких випадків у сучасній будівельній механіці вистачає.

**Постановка завдання** полягає у визначенні впливу масштабності числової моделі на НДС вузла лафети в консольному колесі огляду Технологічного університету Батумі на прикладі статичної частини конструкції колеса.

Консольне сталеве колесо огляду діаметром 18м (див. рис. 1–2) розташоване у залізобетонній будівлі Технологічного університету Батумі [4–6]. Центр вала – на позначці +102,5м. Жорсткісні характеристики елементів відображено в таблиці 1. Геометрію та навантаження [4–6] від найгіршого сполучення відображено.

Загальний опис конструкції та дія навантажень приведено у статтях [4] та [5], а аналіз роботи вузлів розглянуто у праці [6].

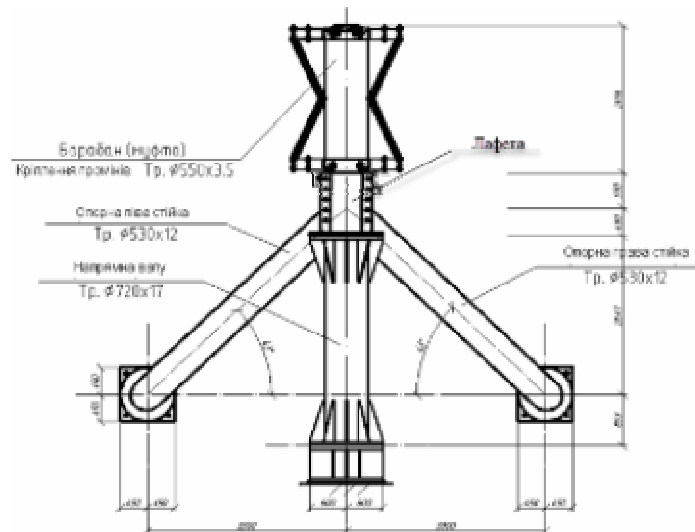


Рис. 1. Геометрична схема колеса, закріпленого у висотній будівлі

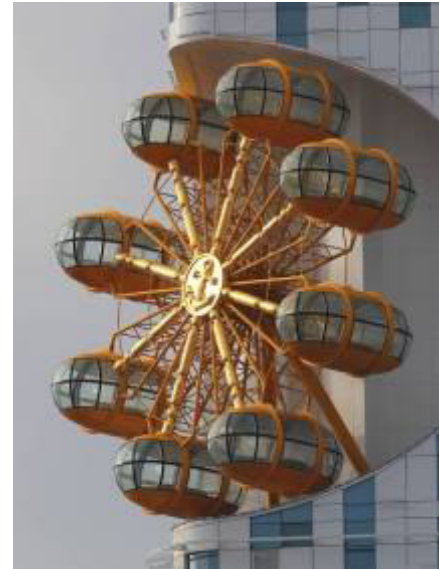


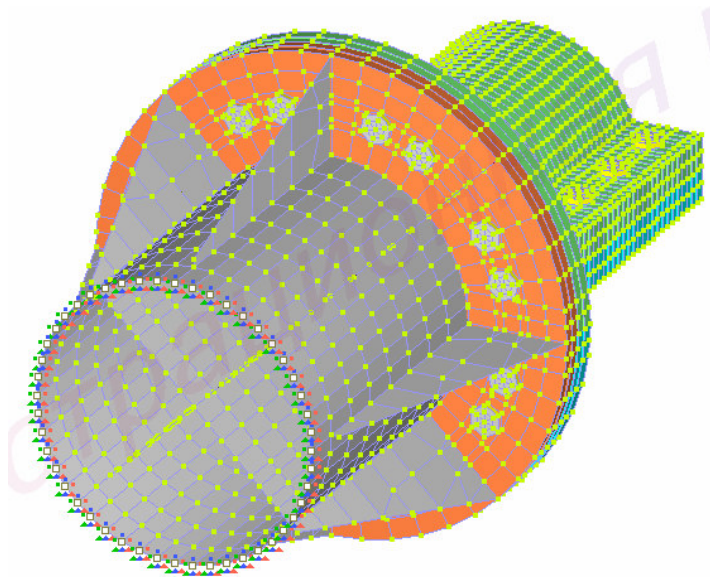
Рис. 2. Колесо огляду в будівлі

Таблиця 1. Жорсткісні характеристики елементів лафети та примикаючих елементів

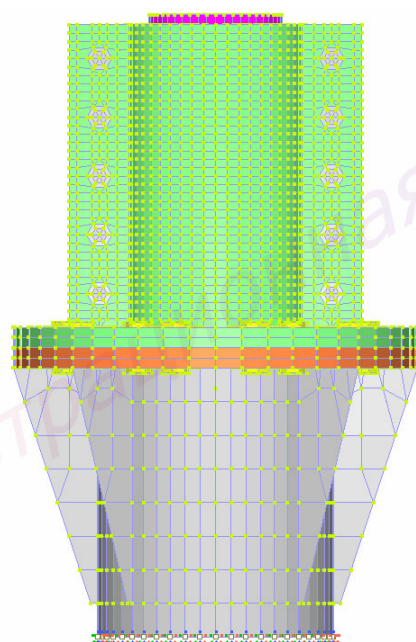
№ з/п	Найменування	Сталь	Коеф. Пуасона	Модуль Юнга, МПа
1	Вал	Загартована сталь	0,3	2,06E+005
2	Лафета	20Л	0,26	1,962E+005
3	Напрямна вала	09Г2С	0,28	2,06E+005
4	Фланець	09Г2С	0,28	2,06E+005
5	Болти	40х	0,3	2,10915E+005

**Основний матеріал і результати.** Завданням даного дослідження є визначення необхідної масштабності задачі для консольного колеса огляду. На основі НДС системи проведено аналіз двох розрахункових схем за МСЕ:

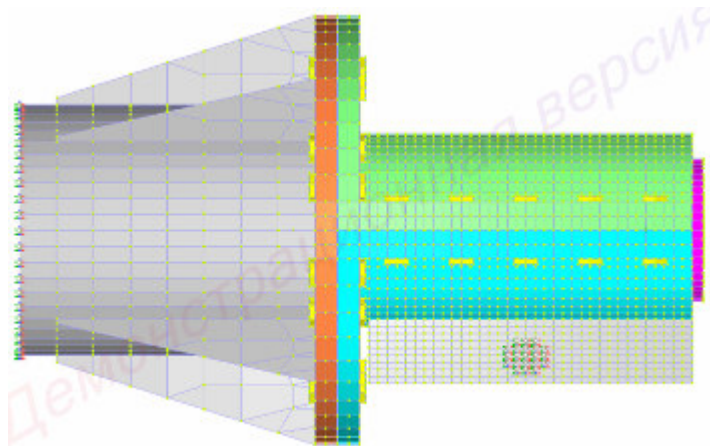
- У ПК ЛИРА 10.4 розроблена фізико-математична модель (див. рис. 3–6) у геометрично-нелінійній постановці з просторових елементів вузла лафети з опорною частиною для аналізу роботи болтових з'єднань. Обріз напрямної вала вважається жорстким з'єднанням, а спирання на опори – ідеальним циліндричним шарніром. У розрахункову схему включені наступні типи елементів: вал, складові лафети, торцева пластинка напрямної вала та болти – просторові вузлові елементи, напрямна вала, ребра та багатозрізкове з'єднання-стикування з опорами – оболонковими 3- та 4-вузловими елементами; взаємодія між валом й елементами лафети забезпечується за рахунок тертя та галтелі на валу, що створюють умови для контактної задачі;



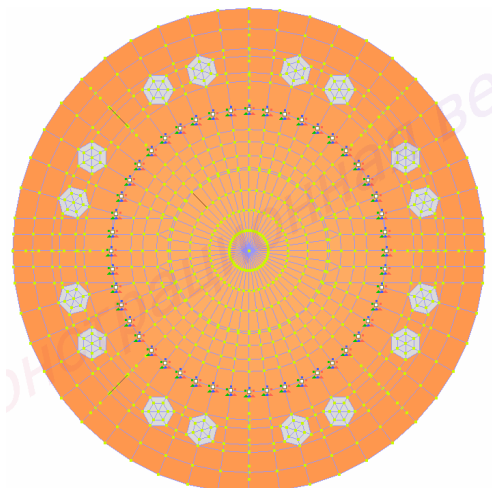
**Рис. 3. Просторова розрахункова схема головного вузла консольного колеса огляду – вузла лафети, ізометричний вид**



**Рис. 4. Просторова розрахункова схема, вид у плані**



**Рис. 5. Просторова розрахункова схема, вид збоку**

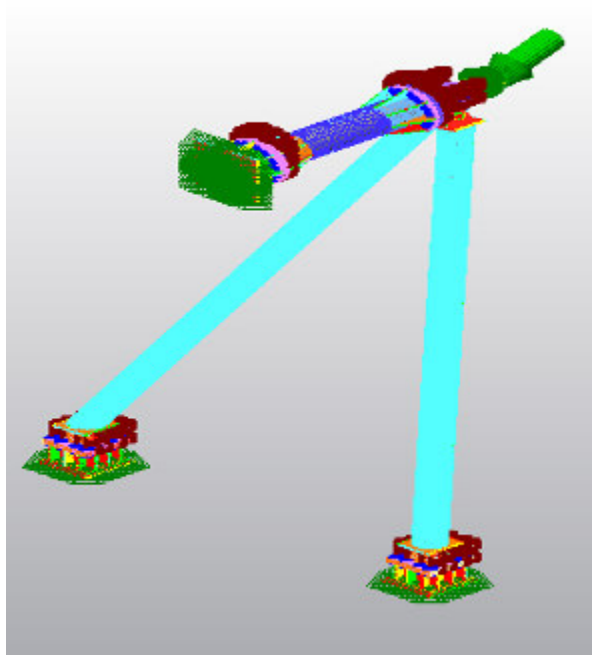


**Рис. 6. Просторова розрахункова схема, вид спереду**

- У ПК AMS розроблена фізико-математична модель (див. рис.7) у геометрично-нелінійній постановці елементів статичної частини конструкції колеса огляду, а саме: баз опор, багатозрізових з'єднань циліндричних шарнірів, трубчастих ніг опор з багатозрізовими циліндричними з'єднаннями взаємодії з вузлом лафети, вертикально закріпленого до будівлі бази напрямного вала, фланцевого з'єднання між базою та напрямною вала, вузла лафети та вала, що тримається в ній за рахунок обтискання та галтелі. Конструкція залізобетонної будівлі вважається жорсткою та геометрично незмінною, а кріплення до будівлі – абсолютно жорстким за 6-ма напрямками – масивність з/б діфрагми та балок це дозволяють. У розрахункову схему включені наступні типи елементів: болти, змодельовані стрижневими елементами з попереднім натягом з однією площиною зрізу; багатозрізові елементи пальців циліндричних шарнірів, змодельовані стрижневими елементами з відповідною кількістю площин зрізання; усі інші елементи

моделюються просторовими елементами типу тетраедр. Взаємодія між елементами фланців – одноплщинна, тільки при стиску взаємодія між валом й елементами лафети забезпечується за рахунок тертя та галтелі на валу, що створюють умови для контактної задачі; усі інші елементи працюють за рахунок зварювання (з'єднання по прямій стику), що відповідає реальній роботі конструкції.

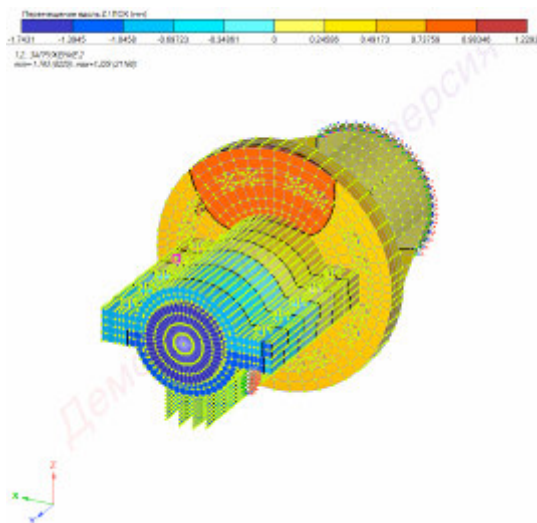
Для порівняння результатів розрахунку на цих схемах при однакових навантаженнях розглянемо розподіл зусиль у болтових з'єднаннях та переміщення вала, в місці приєднання кінематичної частини конструкції – барабана.



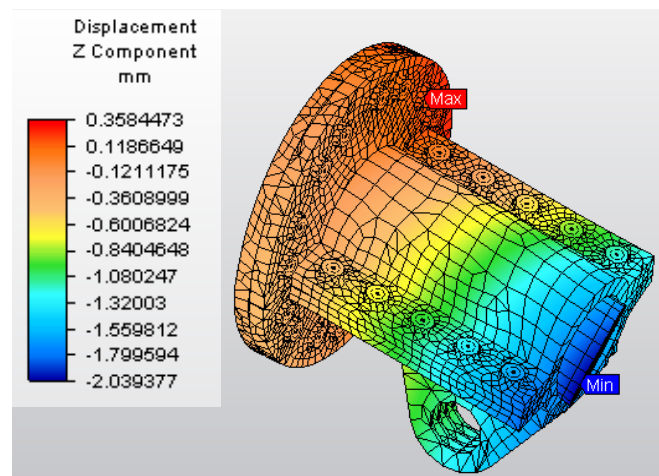
**Рис. 7. Розрахункова модель статичної частини консольного колеса огляду в AMS**

#### Аналіз результатів статичного розрахунку.

1. Характер деформацій схем є однаковим, але внаслідок піддатливості опор у другій схемі призводить до збільшення переміщень, уцьому випадку на 10,25% (див. рис. 8–9) по вісі Z та сумарне переміщення на 22,83%.

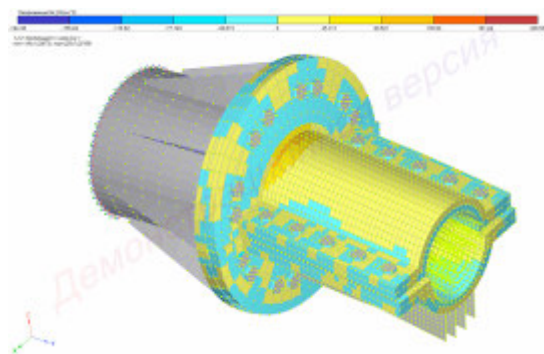


**Рис. 8. Переміщення по вісі Z у моделі 1**

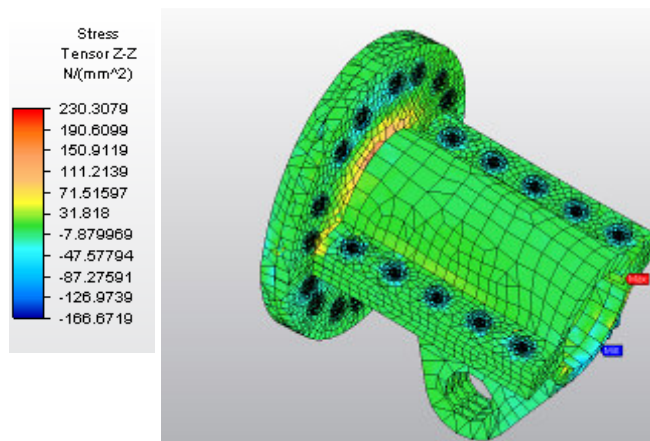


**Рис. 9. Переміщення по вісі Z у моделі 2**

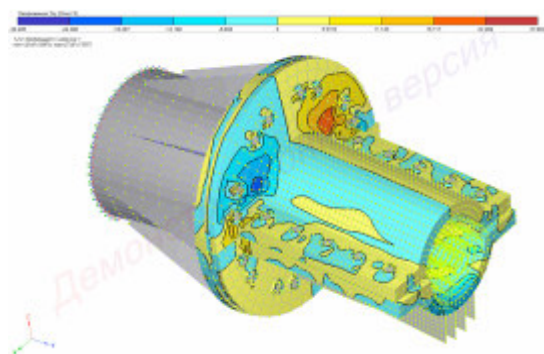
2. Перерозподіл напружень при врахуванні піддатливості опор змінює НДС елементів лафети. Перекіс перерізу стосовно горизонталі, що виникає внаслідок дії зовнішніх сил з урахуванням крутильного моменту і нерівномірного розподілу навантажень між опорами, призводить до виникнення більших косих напружень. Отже, вузол лафети при нехтуванні масштабності намагається перетворити енергію в зсувне зусилля між складовими, а при врахуванні елементів статичної схеми конструкції – болтові з'єднання фланців у горизонтальній (фрикційній) та вертикальній площині працюють сумісно, сприсяючи крутильні прояви роботи – за рахунок включення в роботу пластин фланця по всій площі піраміди стискання (див. рис. 10–11).



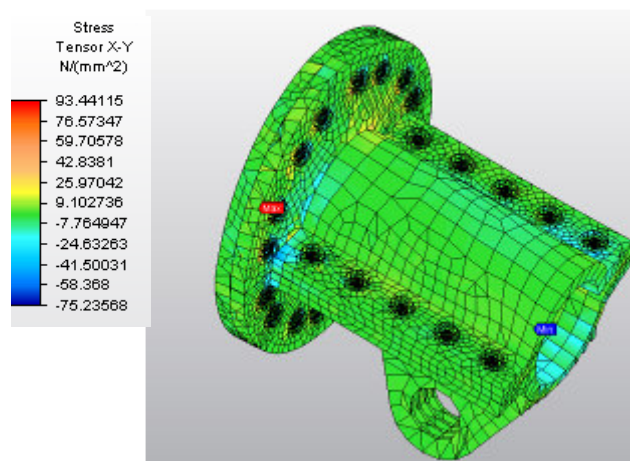
**Рис. 10. Напруження  $N_{zy}$  просторових елементах вузла лафети в моделі 1**



**Рис. 11. Напруження  $N_{zy}$  просторових елементах вузла лафети в моделі 2**



**Рис. 12 Напруження  $T_{xy}$  в просторових елементах вузла лафети в моделі 1**



**Рис. 13. Напруження  $T_{xy}$  в просторових елементах вузла лафети Z у моделі 2**

### **Висновки.**

1. При розрахунку сталевих конструкцій зі складними вузлами, можливими ексцентриситетами, використання складених конструктивних схем є більш доцільним з точки зору правильності моделювання.
2. Використання зв'язків «будівельна система – ВІМ-модель – мультифізична система» вже зараз дозволяє проектувати швидко та ефективно конструкції, зокрема складні вузли.

3. При розрахунку конструкції була знайдена наступна закономірність, яка полягає в тому, що при врахуванні піддатливості елементів опор перерозподіл зусиль у вузлах змінюється, і болтові з'єднання більше вступають в роботу; при цьому внаслідок деформації і складного НДС статично невизначена система починає перерозподіляти зусилля між фланцевим та фрикційним з'єднаннями.

#### *Література*

1. Феодосьев В.И. Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1969 – 30 с.
2. Перельмутер А.В. Расчётные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – К.: Изд-во «Сталь», 2002. – 600 с.
3. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Изд-во «Факт», 2007. – 393с.
4. Білик А.С. Атракціон у висотній будівлі технологічного університету м. Батумі / А.С. Білик, М.О. Бут // Промислове та цивільне будівництво. – К., 2013. – С. 37–42.
5. Былык А.С. Колесо обозрения, закреплённое в высотном здании / А.С. Былык, М.А. Бут // Актуальные проблемы современного строительства и пути их эффективного решения: материалы Международной научно-практической конференции, 10–12 октября 2012 г., г. Санкт-Петербург, 2012. – Ч. 1. – С.52 –57.
6. Былык С.И. Расчёт колеса обозрения, закреплённого в высотном здании: отчет о НИР / С.И. Былык, А.С. Былык, М.А. Бут. – К.: НИЧП «Вартість», 2012. – 78 с. – Библиогр.: С. 77–78. –Инв. №75.
7. Пузанов А.В. Инженерный анализ в Autodesk Simulation Multiphysics / А.В. Пузанов. – Москва: ДКМ, 2013.

Надійшла до редакції 26.12.2014

© С.І. Білик, М.О. Бут