

позначається на кутовій швидкості вхідного і вихідного валів. Очевидно, що цей вплив досить незначний, і ним зазвичай нехтують, враховуючи відносно невелику масу хрестовини. Але при точних розрахунках слід брати до уваги цю особливість шарніра Гука. Також слід зауважити, що амплітуда значень E_2 збільшується зі збільшенням міжосьового кута передачі α .

Висновки

1. В результаті проведеного дослідження отримані розрахункові співвідношення для визначення напрямних косинусів вектора $\bar{\omega}_2$ в рухомій системі координат, а також величини кінетичної енергії хрестовини карданного шарніра у вигляді періодичної функції кута повороту φ_1 вхідної ланки.

2. Непостійність величини кінетичної енергії хрестовини додатково впливає на характер зміни кутової швидкості валів карданного шарніра. Цей вплив досить незначний, враховуючи відносно невелику масу хрестовини. Але при точних розрахунках високошвидкісних карданних передач його слід враховувати.

3. Зі збільшенням міжосьового кута передачі α збільшується амплітуда значень кінетичної енергії хрестовини карданного шарніра.

Література

1. Фролов К. В. Теория механизмов и машин / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов, Г. А. Тимофеев, В. А. Никоноров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 664 с.

2. Кожевников С. Н. Карданные передачи / С. Н. Кожевников, П. Д. Перфильев. – Киев "Техника", 1978. – 263 с.

3. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М.: Высшая школа, 1986. – 416 с.

Красніков Сергій Васильович, к.т.н., доцент,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСНИХ ФОРМ КОЛИВАНЬ МОСТУ ВАНТОВОГО ТИПУ

Україна має велику кількість автомобільних магістралей значної протяжності. Ці магістралі мають у себе в складі 5845 мостів, ще 10310 мостів припадає на шляхи немагістрального типу. За офіційними даними на кінець 2020 року в експлуатації перебували лише 12064 мости. Загалом лише 60% мостів мають переважно працездатний стан, інші 40% потребують ремонту різної складності. У 2020 році за державною програмою відновлення мостів з безпосередньою участю Президента України було виділено 3 млрд. гривень. Проте загальні потреби щодо ремонту мостів на 2020 рік складали щонайменше

біля 30 млрд. гривень, про що було складено план з фінансування до 2025 року. Недостатнє фінансування зазначеної проблеми призвело до масової зупинки будівництва мостів, порушення міжремонтних нормативних строків, неналежного експлуатаційного стану мостів, зменшення проектних та дослідницьких робіт щодо мостів, зупинок та затримання строків обстеження сучасного стану мостів. Середній вік мостів складає 50-60 років. Більше 80% мостів побудовані до 1980 року та декілька десятиліть витримували навантаження пограничне за проектне. Оновлення мостів (побудова нових та капітальний ремонт існуючих) на 2020 рік у порівнянні з 1980 роком зменшилося у 6,5 разів. На жаль є незавершені об'єкти будівництва мостів, що були заплановані ще у 1980-90-х роках. Все це призвело до того, що кількість непрацездатних мостів за 5 років (2015-2020) збільшилось вдвічі. Значно гірша ситуація у поточному році виникла після початку бойових дій. Проте завантаженість магістральних доріг попри всю ситуацію в Україні має великий рівень, тому питанням з аналізу поточного стану та забезпечення працездатності мостів потрібно приділяти значну увагу.

Північний міст у м. Києві є типовим прикладом використання мостів на Україні. Він експлуатується у граничних режимах тому, що навантаження основних магістралей столиці нашої країни значно збільшилось. Цей міст введено в експлуатацію ще у 1976 році. Міст поєднує правобережну частину житлових районів м. Київ з потойбічними житловими масивами [Троєщина](#), [Райдужний](#), [Воскресенка](#). Північний міст є складовою дорожнього комплексу, що завдовжки є понад 9 км. Цей комплекс складається з виходів до мостів через р. Дніпро, дороги [Труханового острова](#), виїздів на базу з відпочинку «Дніпрові хвили» та допоміжні розбудови. Північний міст є однією з найаварійніших ділянок магістралей м. Києва. Там постійно трапляються дорожньо-транспортні пригоди. Однією з версій їх появи є неналежний вібраційний стан мосту, що постійно призводить до появи резонансів. Тому дослідження власних форм коливань Північного мосту є важливою актуальною задачею.

Було поставлено задачу з моделювання Північного мосту, розрахунку та дослідження його власних форм коливань з урахуванням різної комбінації зв'язків та обмежень (жорстка опора, відсутність опор, шарнір). Об'єктом дослідження є один з найбільш відомих в нашій країні та Європі міст вантового типу. Північний міст має типові елементи: один пілон, групи вантів, прольот. Предмет дослідження - власні форми коливань.

За методологією методу скінчених елементів (МСЕ) основний функціонал (1) можна зазначити у вигляді:

$$[M]\{\ddot{q}(t)\} + [C]\{\dot{q}(t)\} + [K]\{q(t)\} = R, \quad (1)$$

де M – матриця з загальних інерційних характеристик,
 C – матриця з загальних характеристик зміни енергетичного стану,
 K – матриця з загальних характеристик жорсткості,
 R – зовнішній вплив.

Власні частоти (p_j) можна обчислити наступним чином:

$$\det[K - p_j^2 M] = 0. \quad (2)$$

Частоти можна знайти за допомогою використання методу Якобі. Для знаходження власних форм коливань можна використати наступне рівняння:

$$[C_D + C(\{S\}) - p_j^2 M(\{S\})]\{V_j\} = 0, \quad (3)$$

Розрахункові моделі для вантового мосту мають зовнішньо однаковий вигляд. Так, на рис. 1 показано тип 4 з розрахункових моделей. Різниця моделей у типах в'язів. Загальна кількість місць розташування в'язів – чотири.

Модель типу 1 має виключно жорстке кріплення пілону. У моделях 2 та 3 жорсткий зв'язок мають обидва кінця прольотів. У моделі типу 4 всі в'язі є жорсткими.

Розмір моделей є наведеним за таблицею 1. Більш детальний опис моделей мосту наведено в таблиці 2.

Таблиця 1. Розмір розрахункових моделей

модель	кількість		
	вузлів	скінчених елементів	ступенів волі
1	10797	30748	32313
2	10797	30748	32235
3	10930	31121	32619
4	10930	31121	32604
4-2	13850	44320	54109

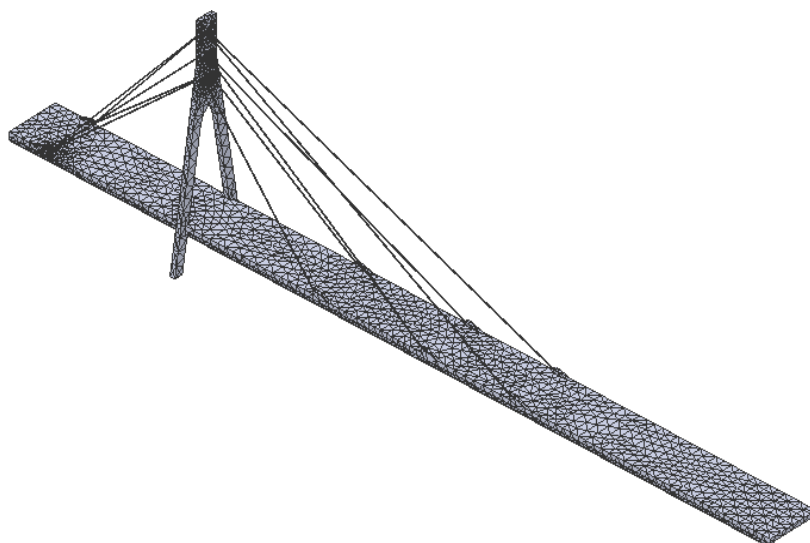


Рисунок 1 - Скінчено-елементна модель

Таблиця 2. Опір в розрахункових моделях

модель	кількість		
	вільних опор	шарнірів	жорстких опор
1	1	2	1
2	1	0	3
3	0	1	3
4	0	0	4
4-2	0	0	4

З таблиць 1 та 2 видно, що для моделі за типом 4 зроблено модель типу 4-2 з підвищеним за кількістю ступенів волі. Середня різниця по значенням власних частот 6%. Це свідчить про математичну збіжність розрахунків за дискретизацією моделі 4.

Були розраховані форми власних коливань у діапазоні 0 – 10 Гц для всіх типів моделей. Результати представлені на рисунках. За формами власних коливань видно збіжність між моделями 1 та 2, 3 та 4.

З рисунків можна побачити велику частку з кількості місць, де рух транспорту буде значно залежним від форм власних коливань мосту. Це може бути причиною приведення до втрати керування транспортним засобом та виникнення аварійних ситуацій. Це в першу чергу стосується руху різних типів автотранспорту за невеликою швидкістю (першою передачею). Таким чином рух транспортних засобів з швидкостями меншими зі 20 км/г може привести до появи резонансу, що є негативним явищем. Додатково цей негативний ефект є посиленням тим фактом, що початкові резонанси мають більші значення з амплітуд коливань.

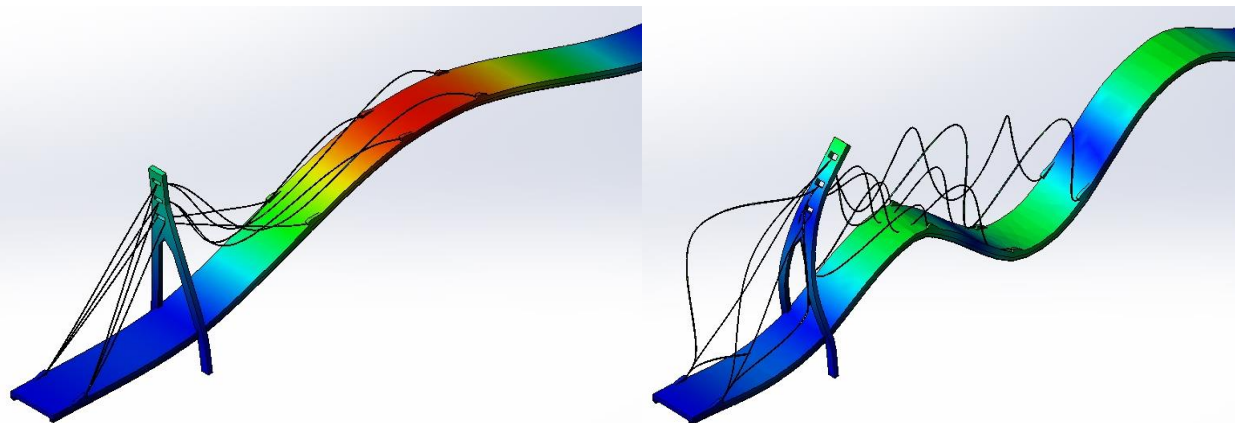


Рисунок 2 – Власні форми коливань 1 та 2 моделі 2

Взагалі з рис. 2 видно, що ванти мають найбільші коливання. З цього можна дійти висновку, що місця кріплення вантів до прольоту є аварійно-небезпечними місцями. Це також підтверджується статистикою з дорожньо-транспортних пригод.

З рисунків власних коливань видно де є аварійно небезпечні місця при невеликій швидкості автотранспортних засобів.

За результатами роботи отримано форми власних коливань для моста вантового типу.

Дослідження щодо власних частот показало високу щільність їх спектру. Дослідження форм власних коливань показало, що в діапазоні від 0 до 10 Гц є щонайменше п'ять глобальних форм коливань. Зміна жорсткості у вигляді додаткової в'язі моста як шарнір майже у два рази збільшує кількість глобальних форм коливань. Зміна типу в'язей без урахування додаткової опори майже не змінює характеристики власних коливань.

Література

1. Казакевич М. И. Причины глобальных и локальных отказов вантовых мостов. Мосты и тоннели: теория, исследования, практика. 2012. №1. С. 3-8.
2. Красников С.В. Моделирование вантового моста стилия арфы и анализ прочностных характеристик. Автомобильный транспорт. 2017. №41. С.188-195.
3. Zavyalova N.V., Kadisov G.M. [Analysis of three-dimensional thin-walled systems at local load. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering](#). 2007. Т. 3. № 2. С. 57-60.
4. Schlaich M. Erection of Cable-Stayed Bridges Having Composite Decks with Precast Concrete Slabs. Journal of Bridge Engineering. 2001.
5. Shi Jingxian Ran Zhihong. Effect of Concrete shrinkage and creep effect on the Cable Force of Extradosed Cable-stayed Bridge. Highway engineering. 2014. № 1. С.7
6. Еременко С.Ю. Методы конечных элементов в механике деформируемых тел. Харьков: Основа. 1991. 271 с.
7. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. М.: Мир. 1984. 428 с.

Кубіч Вадим Іванович, к.т.н., доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», schmirung@gmail.com

Мимоход Дмитро Юрійович, магістрант, Національний університет «Запорізька політехніка», hapiston123@gmail.com

Назаренко Олександр Миколайович, студент, Національний університет «Запорізька політехніка», alexnazarenkozp@gmail.com

ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ПРОЯВУ АНТИФРИКЦІЙНОЇ ТА ПРОТИЗНОСНОЇ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНИХ ОЛИВ ПІДДАНИХ ВЗАЄМОДІЇ З КАРТЕРНИМИ ГАЗАМИ

Розкриття взаємозв'язків між системою «моторна олива – відпрацьовуванні газу – вентиляція картера» та трибологічними системами матеріалів пар тертя при поточному погіршенні експлуатаційних властивостей моторних олив, що обумовлене втрачанням ресурсу ЦПГ ДВЗ, представляється актуальним науково-технічним завданням. Це завдання вирішується такими суміжними прикладними науками як: хімотологія, трибологія, механіка, матеріалознавство та іншими з використанням різноманітних методів та підходів. Встановлення закономірностей зміни параметрів, які характеризують