

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 519:539:534

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.97.0.122

МОДЕЛЮВАННЯ МОСТУ ВАНТОВОГО ТИПУ ТА МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Красніков С. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Здійснено моделювання мосту вантового типу з огляду на різні варіанти спирання. Побудовані розрахункові моделі мосту дозволяють розглядати його як конструкцію з різними жорсткостями. Проведено серію розрахунків з власних коливань. Моделювання системи та проведення розрахунків власних форм здійснено за допомогою методу скінченних елементів. Під час автор дійшов висновків щодо підвищення надійності системи та визначив рекомендації щодо засобів зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод.

Ключові слова: міст, вібрація, власні форми, моделювання, метод скінченних елементів, фундамент.

Вступ

Найкрасивішими різновидами мостів є вантові (рис. 1). За допомогою вантів розподілення навантаження є більш рівномірним. Крім того, вантові мости дозволяють знизити кількість опорів. Все це дозволяє зменшити строки будівництва та будувати мости незважаючи на перешкоди великої глибини без урахування обмежень на неї. Через ненадій-

ність квантові мости є менш розповсюдженими, проте для специфічних магістралей та задля їх облаштування частіше, ніж звичайні стрічкові мости. Красота квантового мосту залежить від її структури: кількості та різновиду пілонів, довжини головного прольоту. Проте ця краса потребує вирішення складних інженерних завдань під час проектування та будівництва мосту.



Рис. 1. Міст вантового типу, м. Київ

Підвищення довжини прольоту призводить до необхідності підвищення жорсткості пілонів та додаткових вимог до вантів та спорудження. Це так само призводить до підвищення вартості будівництва. Крім того, використання вантового мосту викликає значні коливальні процеси, що ускладнюють не тільки рух рельсового та залізничного транспорту, але в деяких випадках навіть пішоходів. Невантові конструкції мостів мають більшу здібність до гашення коливань. Все це призводить до зменшення кількості рішень щодо будівництва вантових мостів. Результатом цього підходу є те, що вантові мости зазвичай будуються у великих мегаполісах та в місцях зі значною глибиною перешкоди для нової магістралі. Не є винятком і наша країна. Першим вантовим мостом в Україні є «Московський міст», що 2018 року перейменовано в «Північний міст». Він побудований в столиці наприкінці ХХ століття, проте є одним з 10 перших мостів у розвинутому світі. Цей міст майже безперервно експлуатується протягом півстоліття, проте час від часу змінюється режим його експлуатації та оцінка окремих експлуатаційних організацій щодо його надійності. Цей парадоксальний підхід не призводить до демонтажу мосту та виведення його з експлуатації, проте є приводом до додаткових досліджень та обговорення. Додатково це визначається тим, що зазначений міст став базовим для серії мостів у нашій та в інших країнах світу.

Пілотний проект «Північний міст» для єдиної серії мостів викликав підвищену увагу до особливостей його експлуатації. Через тимчасове підвищення пропускної спроможності цього мосту (збільшення полос руху) значно збільшились випадки аварій транспортних засобів на ньому. Це є результатом роботи в нештатному режимі елементів мосту та значного часу експлуатації всієї конструкції. Проте є декілька рішень щодо підвищення надійності мосту. Деякі з них були застосовані, проте аварійні ситуації ще трапляються та причини їх виникнення остаточно не з'ясовані. Тому є потреба в додаткових дослідженнях, зокрема в модальному аналізі.

Аналіз публікацій

Міст є типовою конструкцією магістралей великої довжини [1–6]. У нашій країні перший вантовий міст через річку Дніпро було побудовано ще 50 років тому. Це міст, який має назву Рибальський міст Довжина його прольоту становить 144 метри [7–10].

Він експлуатувався з 1963 року по 2009, а цьому року він має бути остаточно демонтованим. Після запуску в експлуатацію Рибальського мосту 1971 почали будувати новий міст з прольотом 300 метрів [11–13]. 1976 року він був введений в експлуатацію, що триває й до нині. Для того часу це був унікальний для Європи проект. Його вартість була в п'ять разів менша, як порівняти з сучасним будівництвом Запорізького мостового переходу, тривалість якого вже в п'ять разів довша, порівнюючи з «Північним мостом» та триває дотепер [14, 15]. Конструкція «Північного мосту» була прототипом для великої кількості мостів, які досі успішно експлуатуються на континенті Євразія. На жаль, цей досвід та спеціалістів з будівництва сучасне керівництво країни нехтує та віддає переваги іноземному науковому та промислового комплексу. Так, «Північний міст» було спроектовано та побувало виключно фахівцями нашої країни, проте будівництво Запорізького мостового переходу було згідно з тендером здійснено турецькими фахівцями, які вже самостійно приймали рішення щодо надання роботи українським, молдавським та казахським працівникам. Варто зазначити, що будівництво Запорізького мостового переходу було розпочато 2004 року, проте план щодо його створення було затверджено ще 1987 року. Плани на створення «Північного мосту» з'явилися 1970 року, а вже 1971 його почали будувати. Внаслідок сучасної перебудови нашої країни, що досі триває, єдиними вантовими мостами з довжиною прольоту більше 100 метрів у нашій країні є лише «Північний» (1976) та «Південний» («Рибальський») мости. Вони є пам'ятками могутньої імперії, величі якої значною мірою було досягнуто завдяки праці науковців, інженерів та звичайних робітників України. Також у нашій країні та в Європі є велика кількість вантових мостів з прольотом невеликого розміру (менші ніж 100 м).

Раніше було здійснено декілька досліджень, зокрема щодо міцності мосту. Ці розрахунки надали можливість визначити кількість аварійно небезпечних місць та здійснити загальний якісний аналіз мосту в умовах експлуатації, наближених до штатних з огляду на незначну кількість сучасних факторів [16–17]. Проте це є недостатнім для розроблення остаточних рекомендацій щодо умов експлуатації та підвищення суттєвих показників мосту, зокрема міцності, надійності, підвищення пропускної спроможності. Тому було прийня-

то рішення про продовження досліджень цієї конструкції [18–20].

Мета та постановка завдання

Метою дослідження є аналіз мод нашої системи з огляду на різні комбінації зв'язків та обмежень (шарнір, жорстка опора, відсутність опорів). Об'єктом дослідження є найбільш відомий у нашій країні та в Європі вантовий міст. Він має такі типові елементи: пілон, вант, проліт. Предметом дослідження є моди системи, а також їхні якісні характеристики.

Математична модель

Запишемо математично основне рівняння:

$$L(t, C_0, q) = 0, \quad (1)$$

де C_0 – жорсткість суттєвих опор мосту; L – загальне енергетичне рівняння; q – загальні зміни характеристик першого порядку.

За методологією МСЕ [21–22] функціонал (1) можна записати як

$$[M]\{\ddot{q}(t)\} + [C]\{\dot{q}(t)\} + [K]\{q(t)\} = R, \quad (2)$$

де M – матриця загальних інерційних характеристик; C – матриця загальних характеристик зміни енергетичного стану; K – матриця загальних характеристик жорсткості; R – зовнішні впливи.

Власні частоти (p_j) щодо мод можна обчислити в такий спосіб (3):

$$\det[K - p_j^2 M] = 0. \quad (3)$$

Частоти можна визначити, використавши метод Якобі. Для пошуку мод можна використати рівняння

$$[C_D + C(\{S\}) - p_j^2 M(\{S\})]\{V_j\} = 0. \quad (4)$$

Розрахункова модель

Геометричну моделі наведено на рис. 2. Довжина мосту становить 816 м з довжиною прольоту вантової частини 300 м. Висота мосту за пілоном становить 119 м.

За основою моделі на рис. 2 побудовані розрахункові конструкції.

Розрахункові моделі зовнішньо є однаковими. Так, на рис. 3 подано 4 тип розрахункової моделі. Різниця моделей полягає в типах кріплення. Загальна кількість місць розташування кріплень – чотири.

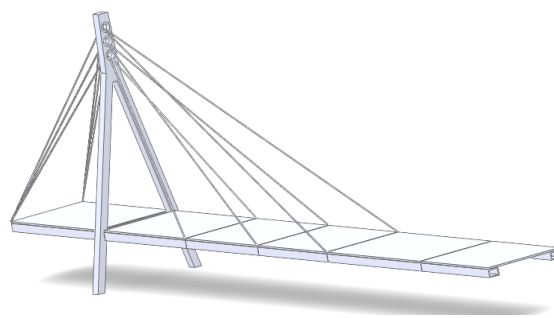


Рис. 2. Геометрична модель

Модель 1 має лише жорстке кріплення пілона. У моделях 2 та 3 жорстке кріплення мають ще 2 кінці прольотів. У моделі 4 всі кріплення є жорсткими.

Розмір моделей наведено в табл. 1. Більш детальною Характеристика моделей наведена в табл. 2.

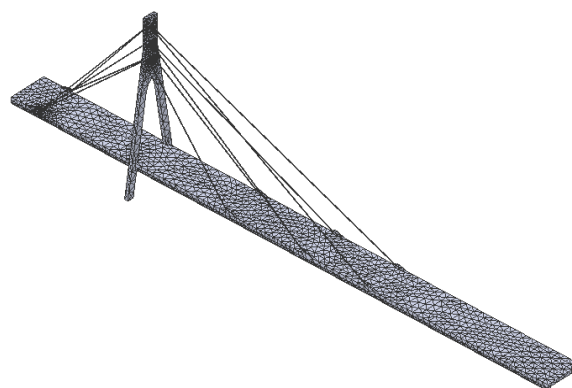


Рис. 3. Скінченно-елементна модель

Таблиця 1 – Розмір розрахункових моделей

Модель	Кількість		
	вузлів	скінченних елементів	ступенів волі
1	10797	30748	32313
2	10797	30748	32235
3	10930	31121	32619
4	10930	31121	32604
4-2	13850	44320	54109

Таблиця 2 – Опір у 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

Для моделі типу 4 зроблено модель 4-2 з підвищеною кількістю ступенів волі. Середня різниця за значеннями мод – 6%. Це свідчить

про доцільність визначення мод за дискретизацією, що дорівнює моделі 4.

Дослідження мод коливань

Були розраховані моди коливань (форми власних коливань) у діапазоні 0–10 Гц для всіх типів моделей. Результати наведені на рис. 4–22.

За формами мод визначено збіжність між моделями 1 та 2, 3 та 4.

На рис. 4–22 можна побачити велику кількість місць, де рух транспорту буде залежати саме від мод мосту. Це може призвести до втрати керування транспортним засобом та аварійних ситуацій. Це насамперед стосується руху автотранспорту за першою передачею (невеликі швидкості). Таким чином, рух транспортного засобу зі швидкостями, менше 20 км/г, може призвести резонансу, що є вкрай негативним явищем. Додатково негативний ефект посилюється тим, що перші резонанси мають найбільші значення амплітуд коливань.

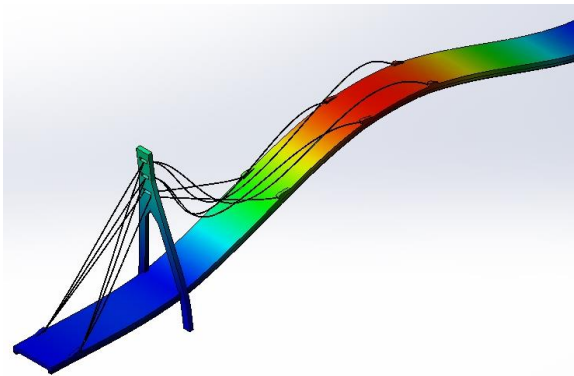


Рис. 4. Власна форма коливань 1 моделі 2 (частота – 0,1 Гц)

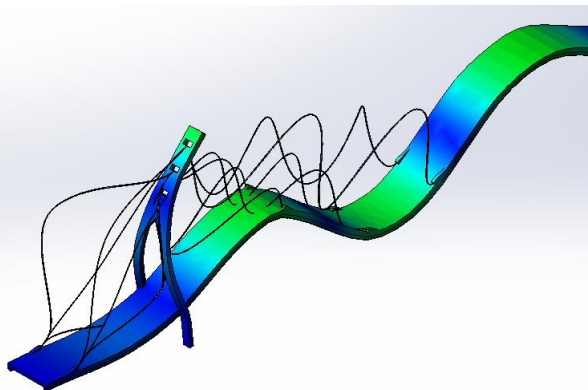


Рис. 5. Власна форма коливань 2 моделі 2 (частота – 0,2 Гц)

Найбільшу кількість глобальних власних форм коливань має модель 3, що відрізняється від інших шарнірною додатковою опорою.

Більшість глобальних власних форм коливань за цією моделлю належить до кратних частот. Отже, самі форми коливань щодо кратних частот відрізняються коливаннями в фазі та протифазі однакових частин. Зазначена різниця стосується у більшості випадків фаз коливань вантів, а також пілона та прольотних частин.

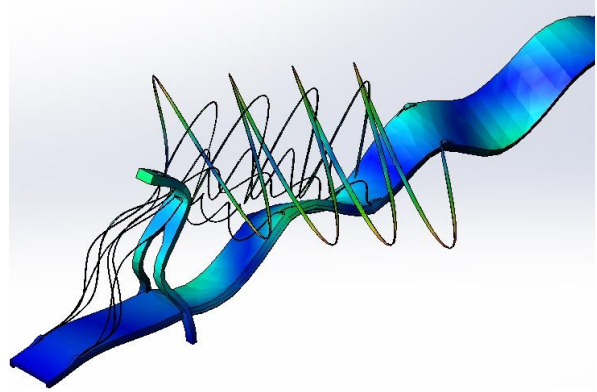


Рис. 6. Власна форма коливань 3 моделі 2 (частота – 0,5 Гц)

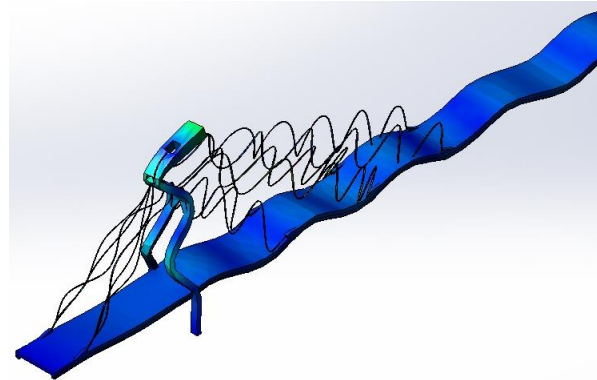


Рис. 7. Власна форма коливань 4 моделі 2 (частота – 1,0 Гц)

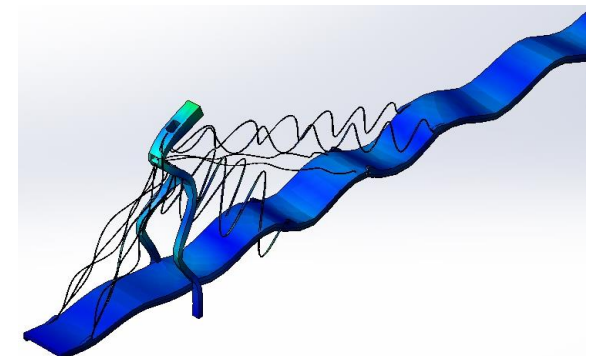


Рис. 8. Власна форма коливань 5 моделі 2 (частота – 1,1 Гц)

Першим п'яти глобальним формам коливань за моделями 1, 2 відповідають форми

коливань моделі 3 та 4 з більшим значенням частот мод. У всіх моделях відповідні власні частоти знаходяться в діапазоні 0,02–1,5 Гц. Проте в моделях 1 та 2 ці моди знаходяться в діапазоні до 1 Гц, а в моделях 3 та 4 в діапазоні більше 1 Гц. Власні частоти (що відповідають глобальним власним формам коливань) з діапазону 1,5–9 Гц мають виключно моделі 3 та 4 з додатковою опорою. Найбільш безпечним для уникнення резонансів є діапазон в моделях 3, 4 – 2,6 Гц: від 4,9 Гц до 7,5 Гц. Ці частоти в більшості автотранспортних засобів належать до руху за першою швидкістю коробки передач. Тобто процес зупинення (гальмування) автотранспортного засобу на вантовому мосту зазначеної конструкції є умовою виникнення резонансу.

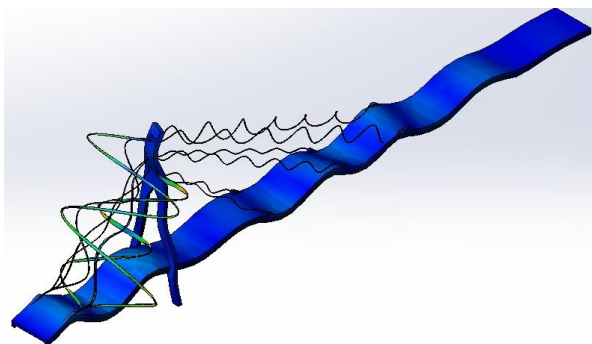


Рис. 9. Власна форма коливань 16 моделі 4 (частота – 1,2 Гц)

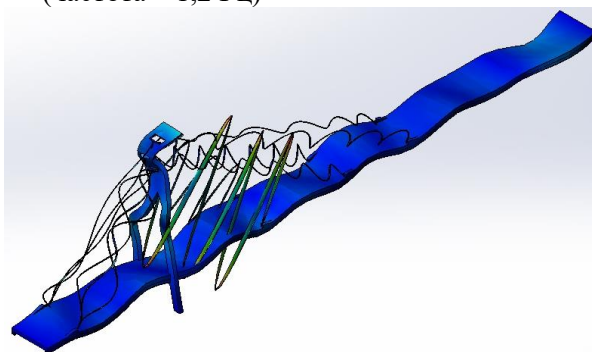


Рис. 10. Власна форма коливань 17 моделі 4 (частота – 1,4 Гц)

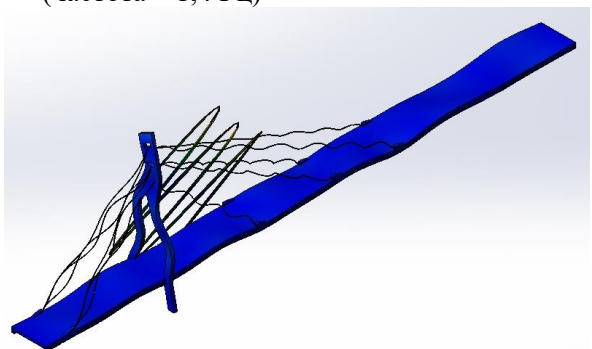


Рис. 11. Власна форма коливань 18 моделі 4 (частота – 1,4 Гц)

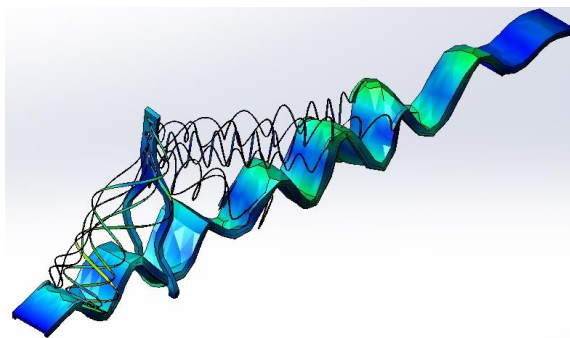


Рис. 12. Власна форма коливань 19 моделі 4 (частота – 1,6 Гц)

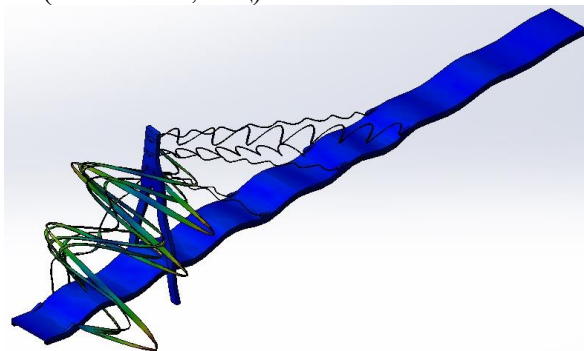


Рис. 13. Власна форма коливань 20 моделі 4 (частота – 1,8 Гц)

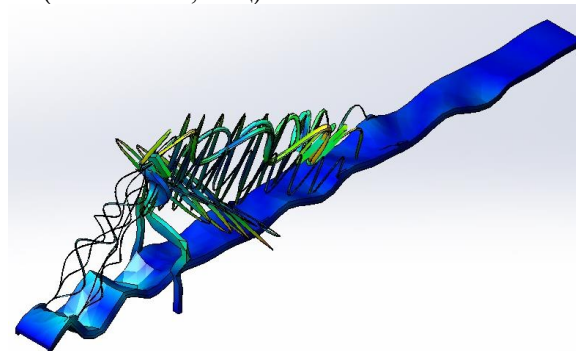


Рис. 14. Власна форма коливань 21 моделі 4 (частота – 2,3 Гц)

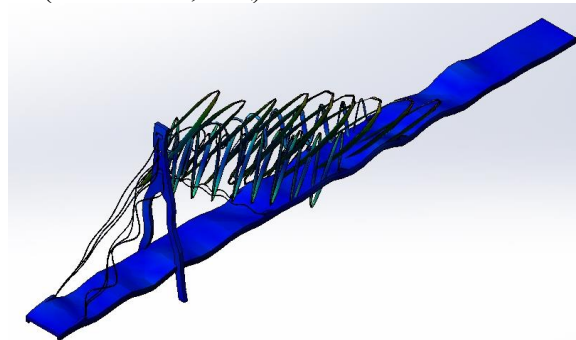


Рис. 15. Власна форма коливань 2 моделі 4 (частота – 2,6 Гц)

На рисунках зазначено, що найбільші коливання мають ванти. Також коливання суттєві для прольоту. Можна дійти висновку, що всі місця кріплення вантів є аварійно небезпечними місцями. Це підтверджується статистикою дорожньо-транспортних випадків, де

втрата керування відбувалася саме в наближенні до місць кріплення вантів.

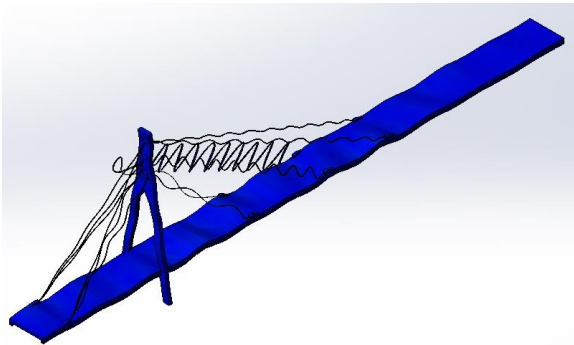


Рис. 16. Власна форма коливань 23 моделі 4 (частота – 3,2 Гц)

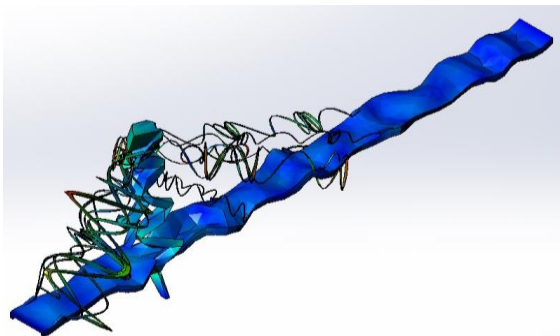


Рис. 17. Власна форма коливань 24 моделі 4 (частота – 3,8 Гц)

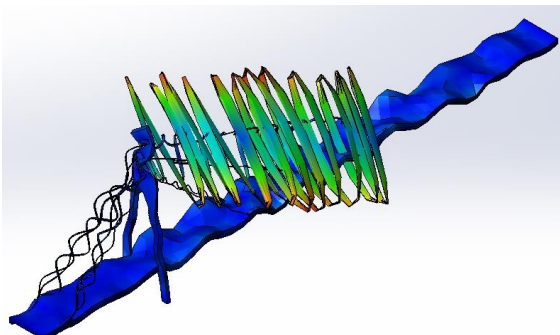


Рис. 18. Власна форма коливань 25 моделі 4 (частота – 4,0 Гц)

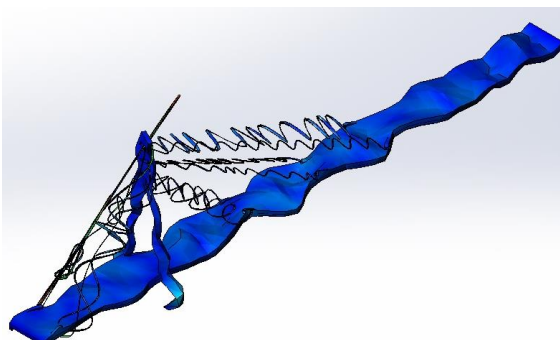


Рис. 19. Власна форма коливань 26 моделі 4 (частота – 4,2 Гц)

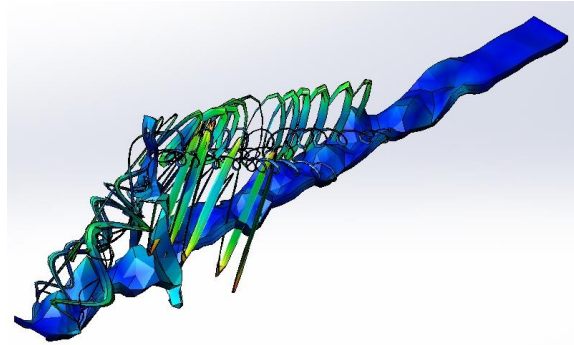


Рис. 20. Власна форма коливань 27 моделі 4 (частота – 4,3 Гц)

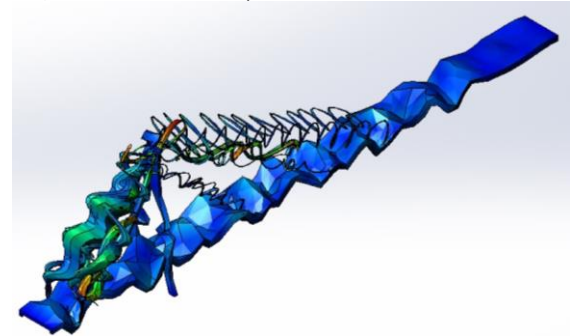


Рис. 21. Власна форма коливань 28 моделі 4 (частота – 4,9 Гц)

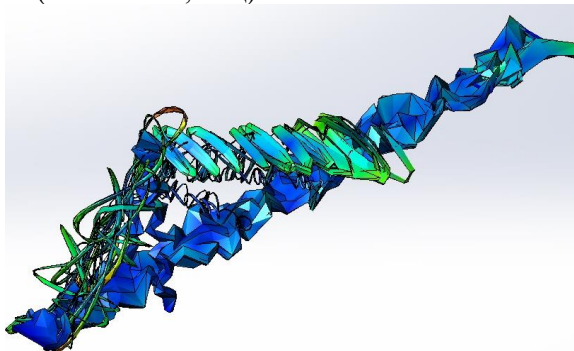


Рис. 22. Власна форма коливань 29 моделі 4 (частота – 7,6 Гц)

Згідно з рис. 4–22 аварійно небезпечними місцями за невеликих швидкостей автотранспорту є весь проліт, зокрема поруч кріплення вантів.

Висновки

За результатами роботи отримано моди коливань моста вантового типу.

Дослідження спектра власних частот демонструє їхній щільний спектр. Дослідження форм власних коливань демонструє стійку кількість з п'яти глобальних форм коливань у діапазоні від 0 до 10 Гц, що збільшується з огляду на наявну опору. Зміна жорсткості додаткової опори моста на шарнір призводить до збільшення глобальних форм коливань майже в два рази. Зміна жорсткостей без урахування додаткової опори не призводить до

якісної різниці характеристик власних коливань.

Таким чином:

– шарнірний тип опори є найгіршим з варіантів кріплення, що є заданими для мосту вантового типу;

– гальмування та зупинка на мості можуть призводити до появи резонансів за найбільш небезпечними формами власних коливань;

– рух на першій передачі (до 20 км/г) є найбільш небезпечним режимом для створення аварійної ситуації.

Для підвищення вібраційної надійності моста вантового типу можна запропонувати збільшення жорсткості всіх опор.

Література

- Петропавловский А. А. Вантовые мосты. Москва: Транспорт, 1985. 224 с.
- Бычковский Н. Н., Бычковский С. Н., Пименов С. И. Вантовые мосты. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. 648 с.
- Кирсанов Н. М. Висячие и вантовые конструкции. Москва: Стройиздат, 1981. 160 с.
- Михайлова А. И., Кузьмина В. М. Особенности конструкции вантовых мостов. *Наука – образование – производство: Опыт и перспективы развития*. Т. 2: Автоматизация, механика и ИТ. Гуманитарные науки. Строительство и архитектура. Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2018. С. 253–258.
- Казакевич М. И. Современное развитие проектирования и строительства средне- и длиннопролетных мостов на высокоскоростных железных дорогах (hsg) Китая. *Мосты и тоннели: теория, исследования, практика*. 2014. № 1. С. 34–39.
- Кривошапка С. Н. Вантовые структуры. *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2016. № 1. С. 9–21.
- Котлярова Е. В., Козаченко Т. О. Предпосылки возникновения и анализ отечественного опыта применения вантовых конструкций в мостостроении. *Закономерности развития технических и технологических наук: сб. статей Международной научно-практической конференции*. Казань, 2017. С. 43–45.
- Котлярова Е. В., Козаченко Т. О. Пространственные конструкции в современной архитектуре: вантовые покрытия. *Закономерности развития технических и технологических наук: сб. статей Международной научно-практической конференции*. Казань, 2017. С. 45–47.
- Рязанова А. В. Особенности и общие принципы конструирования одноопорных вантовых мостов Сантьяго Калатравы. *Актуальные проблемы науки и техники: материалы Национальной научно-практической конференции*. 2019. С. 799–800.
- Барановский А. А. Крупнейшие вантовые мосты мира. Отечественный мост через пролив Босфор Восточный. *Мир дорог*. 2011. С. 46–48.
- Новиков А. П., Техова Т. Д. Конструкции висячих мостов: сб. трудов Междунар. науч.-практ. конференции «Актуальные проблемы современной науки». 2014. С. 153–154.
- Скориков О. Г. Вантовые мосты: перспектива для России. *Актуальные проблемы науки и техники*. 2008. С. 218–220.
- Фульмес Н. Е., Кульбицкая Д. А. Вантовые конструкции: материалы Межвуз. науч.-технич. конф. Рязань: РИПД «Первопечатник», 2015. С. 31–35.
- Зайцев А. И. Минимизация материальных затрат при производстве вантовых покрытий шатрового типа: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Архангельск: Институт управления, 2013. С. 141–144.
- Богданова М. Е., Масловская О. В. Вантовые мосты в структуре образа города: материалы Междунар. науч. конф. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2014. С. 37–42.
- Казакевич М. И. Причины глобальных и локальных отказов вантовых мостов. *Мосты и тоннели: теория, исследования, практика*. 2012. № 1. С. 3–8.
- Красников С. В. Моделирование вантового моста стилия арфы и анализ прочностных характеристик. *Автомобильный транспорт*. 2017. № 41. С. 188–195.
- 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.
- Schlaich M. Erection of Cable-Stayed Bridges Having Composite Decks with Precast Concrete Slabs. *Journal of Bridge Engineering*. 2001.
- 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
- Еременко С. Ю. Методы конечных элементов в механике деформируемых тел. Харьков: Основа, 1991. 271 с.
- Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. Москва: Мир, 1984. 428 с.

References

- Petropavlovskiy A. A. (1985) Vantovye mosty. Moskva: Transport. 224 s.
- Bychkovskiy N. N., Bychkovskiy S. N., Pimenov S. I. (2007). Vantovye mosty. Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t. 648 s.
- Kirsanov N. M. (1981) Visyachie i vantovye konst-ruksii. Moskva: Stroyizdat. 160 s.

4. Mikhaylova A. I., Kuz'mina V. M. (2018). Osobennosti konstruktсии vantovykh mostov Nauka – obrazovanie – proizvodstvo: Opyt i per-spektivy razvitiya. T. 2: Avtomatizatsiya, me-khatronika i IT. Gumanitarnye nauki. Stroi-tel'stvo i arkhitektura. Nizhniy Tagil: NTI (filial) UrFU. S. 253–258.
5. Kazakevich M. I. (2014). Sovremennoe razvitie pro-ektirovaniya i stroitel'stva sredne- i dlin-noproletnykh mostov na vysokoskorostnykh zheleznykh dorogakh (hsr) Kitaya. Mosty i tonneli: teoriya, issledovaniya, praktika. № 1. S. 34–39.
6. Krivoshapko S. N. (2016). Vantovye struktury. Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy. № 1. S. 9–21.
7. Kotlyarova E. V., Kozachenko T. O. (2017). Predposylki vozniknoveniya i analiz otechestvennogo opyta primeneniya vantovykh konstruktсий v mostostroenii. Zakonomernosti razvitiya tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh nauk: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kazan'. S. 43–45.
8. Kotlyarova E. V., Kozachenko T. O. (2017). Prostranstvennye konstruktсии v sovremennoy arkhitek-ture: vantovye pokrytiya. Zakonomernosti razvitiya tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh nauk: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kazan'. S. 45–47.
9. Ryazanova A. V. (2019). Osobennosti i obshchie printsi-py konstruirovaniya odnoopornnykh vantovykh mostov Sant'yago Kalatravy. Aktual'nye problemy nauki i tekhniki: materialy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. S. 799–800.
10. Baranovskiy A. A. (2011) Krupneyshie vantovye mosty mira. Otechestvennyy most cherez pro-liv Bosfor Vostochnyy. Mir dorog. S. 46–48.
11. Novikov A. P., Tekhova T. D. (2014) Konstruktсии vi-syachikh mostov. Sbornik trudov mezhdunar.nauch.-prakt. konferentsii «Aktual'nyeproblemysovremennoynauki». S. 153–154.
12. Skorikov O. G. (2008). Vantovye mosty: perspektiva dlya Rossii. Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. 2008. S. 218–220.
13. Ful'mes N. E., Kul'bitskaya D. A. (2015) Vantovye konstruktсии: materialy mezhvuz. nauch.- tekhnich. konf. Ryazan. S. 31–35.
14. Zaytsev A. I. (2013). Minimizatsiya material'nykh za-trat pri proizvodstve vantovykh pokrytiy shatrovogo tipa: sbornik materialov mezhdunar. nauch.-praktich. konf. Arkhangel'sk: Institut upravleniya. S. 141–144.
15. Bogdanova M. E., Maslovskaya O. V. (2014). Vantovye mosty v strukture obraza goroda. Materialy mezhdunar.nauch.konf. Khabarovsk: Tikho-okeanskiy gosudarstvennyy universitet. S. 37–42.
16. Kazakevich M. I. (2012). Prichiny global'nykh i lo-kal'nykh otkazov vantovykh mostov. Mosty i tonneli: teoriya, issledovaniya, praktika. № 1. S. 3–8.
17. Krasnikov S. V. (2017). Modelirovanie vantovogo mosta stilya arfy i analiz prochnostnykh kharakteristik. Avtomobil'nyy transport. № 41. S.188–195.
18. 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. T. 3. № 2. C. 57–60.
19. Schlaich M. Erection of Cable-Stayed Bridges Having Composite Decks with Precast Concrete Slabs. *Journal of Bridge Engineering*. 2001.
20. Shi Jingxian Ran Zhihong. Effect of Concrete shrinkage and creep effecton on the Cable Force of Extradosed Cable-stayed Bridge. *Highway engineering*. 2014. № 1. C. 7
21. Eremenko S. Yu. (1991). Metody konechnykh elementov v mekhanike deformiruemyykh tel. Khar'kov: Osnova. 271 s.
22. Gallager R. (1984). Metod konechnykh elementov. Osnovy. Moskva: Mir. 428 s.

Красніков Сергій Васильович¹, к.т.н., доц. кафедри теоретичної механіки і гідравліки, тел. +38 057-707-37-30, e-mail: vsevavr@ukr.net
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Modeling of cable-stayed bridge and modal analysis

Abstract. Problem. The considered Characteristics of the own forms of a cable-stayed bridge according to several of its schemes. The analysis of the influence of the type of resistance on the characteristics of the own forms of resistance for different sets was carried out. Among the types of resistance, full rigidity, hinge and no resistance were taken. **Goal.** The purpose of the study is to determine the causes of registered traffic accidents and emergencies associated with them. To do this, it is proposed to analyze the own forms of the cable-stayed bridge for various types of its contact (resistance) with the columns. The object of the study is a cable-stayed bridge with a service life of about 50 years. The bridge is a system of three types of elements: pylon, span and columns. The subject of the study is the forms of natural oscillations of the bridge according to its various models. **Methodology.** The study was carried out by using oscillation and finite element methods. It should also be noted that the original methods for constructing models of complex machine-building systems were used, which were developed directly by the author. **Results.** Based on the results of the research, three-dimensional finite element models of parts and the entire bridge as a single system for various types of resistance were built, and their own forms were obtained for each model of the system. The study allows us to draw conclusions on specifying the causes of road traffic accidents and ways to prevent them. **Originality.** Regarding the methods of constructing models of a cable-stayed bridge, we note their uniqueness. Taking

into account the features of modeling, it became possible to create several states of interaction between the parts of the system. To conduct reliable research for a real model of a structure, it is necessary to have reliable data about the real state of the connections of its elements. This state can range from absolutely rigid to free. Accounting for these features is possible with the help of a unique author's methodology for building models using the universal capabilities of the finite element method. Previous studies of the bridge by other methods did not allow us to solve the tasks set for the occurrence of traffic accidents. **Practical value.** The results of the work have direct practical

application. Based on the results of the work, conclusions were drawn about ways to improve the reliability of the system and the measures to prevent traffic accidents.

Key words: bridge, vibration, own forms, modeling, finite element method, foundation.

Krasnikov S.V.¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 057-707-37-30, e-mail: vsevkr@ukr.net

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.
