

Д. В. Бажутін

МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ КОНСТРУКЦІЙ КРАНОВИХ УСТАНОВОК У ПАКЕТІ COMSOL MULTIPHYSICS

У роботі розглянуто особливості моделювання пружних коливань механічних конструкцій у програмному пакеті Comsol Multiphysics. На прикладі мостового та баштового кранів показана методика розробки моделей у цьому пакеті.

Ключові слова: Comsol Multiphysics, пружні коливання, кран.

Автоматизація процесів переміщення вантажів за допомогою кранових установок є на сьогодні актуальним завданням, оскільки дозволяє заощадити електроенергію і знизити загальний час циклу транспортування. При цьому синтез регуляторів і висновок законів управління часто проводять без урахування пружних властивостей механічної частини кранових установок. Проте зі збільшенням довжин конструкцій їхні пружні коливання призводять до значного збільшення механічних напружень, що знижує термін експлуатації кранів за рахунок прояву втоми металів.

Особливістю протяжних конструкцій є розподіл їх маси й жорсткості по їхній довжині. У цьому разі пружні коливання описують диференціальні рівняння у приватних похідних, які розв'язують методом кінцевих елементів. Тому останнім часом для розв'язання таких завдань усе частіше застосовують спеціалізовані програмні пакети, орієнтовані на дослідження об'єктів з розподіленими параметрами.

Метою цієї роботи є розробка моделей конструкції баштового і мостового кранів і дослідження процесу їх переміщення в пакеті Comsol Multiphysics.

Створення моделі в розглянутому програмному пакеті проходить у кілька етапів. По-перше, необхідно задати розмірність графічного простору. З метою спрощення моделей об'єктів, що мають осі симетрії в конструкції, передбачена можливість створення осесиметричних моделей, які містять лише частину всієї конструкції. По-друге, вказують галузь досліджуваного фізичного явища і тип розв'язуваної задачі, наприклад, статичний або перехідний режим, власні частоти коливань та ін. Після цього необхідно сформулювати геометрію досліджуваного об'єкта, для чого існує досить зручний графічний інтерфейс, а також можливість імпортування моделей, створених у спеціалізованих графічних редакторах.

Наступним етапом є зазначення фізичних властивостей матеріалу, з якого виготовлена конструкція. Перелік необхідних для розрахунків параметрів залежить від того, до якої галузі фізики належать досліджувані явища. Наприклад, магнітні поля вимагають інформації про відносну магнітну проникність матеріалу і його електропровідність, а дослідження механічних коливань конструкції – про модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, щільність обраного матеріалу і т. п.

Останнім етапом створення моделі є зазначення всіх зовнішніх впливів, способів взаємодії об'єктів і заборон на переміщення в деяких напрямках.

Для моделювання процесів у механічних системах у пакеті Comsol Multiphysics служить модуль Structural Mechanics (структурна механіка), що містить різні бібліотеки, призначені для моделювання конкретних систем. Зокрема моделювання пружних коливань конструкцій у межах зони плинності матеріалу можливо за допомогою бібліотек Solid (суцільні тіла), Shell (тонкостінні елементи) і Beam (балки). Кожна з цих бібліотек має обмеження щодо можливості обчислювання переміщень та їх похідних. Так, бібліотека суцільних тіл дозволяє вимірювати швидкості і прискорення по всіх трьох осях, але не дає інформації про кути повороту; бібліотека тонкостінних елементів не дозволяє вимірювати лінійні швидкості й

кутові прискорення; а бібліотека балок – будь-які швидкості і прискорення. Ці особливості слід враховувати під час розробки моделі.

Як приклад розглянемо процес створення моделі мостового крана (див. рис. 1). За основу приймемо дані мостового крана 5 +5-5 К-22,5-10 У2. Виходячи з міркувань, що в більшості випадків зовнішнім контуром регулювання в системі автоматизованого кранового електроприводу є контур швидкості, для створення моделі використовуємо бібліотеку Solid Mechanics, яка дозволяє безпосередньо обчислювати лінійну швидкість у будь-якому напрямку в будь-якій точці конструкції.

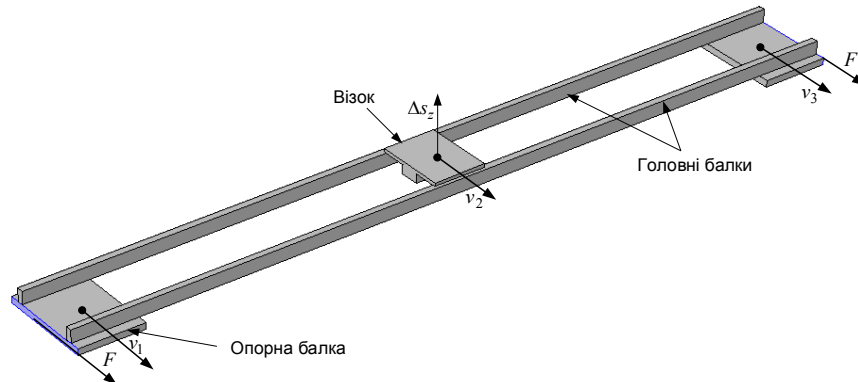


Рис. 1. Модель мостового крана

Точність результатів моделювання, отриманих з цієї моделі, залежатиме від ступеня відповідності геометрії моделі реальним розмірам установки. При цьому слід урахувати, що наявність дрібних деталей у конструкції значно збільшує необхідний для розрахунків обсяг машинної пам'яті. Тому конструкцію доцільно будувати у вигляді сукупності балок, перетин яких відповідає розмірам розглянутого крана. У цьому випадку значно зростає маса конструкції, тому необхідно знизити щільність і жорсткість матеріалу, з якого вона виконана.

Крім цього, складним є моделювання процесу розгойдування й підйому вантажу через відсутність можливості створення шарнірних з'єднань і гнучких канатів, а реалізація руху візка по мосту пов'язана з низкою труднощів. Тому обмежимося одним вантажопідйомним візком без вантажу, жорстко зафіксованим у деякій точці конструкції моста.

Нехтуючи пружністю контакту рейки й колеса, можна вважати, що опорні балки крана не можуть рухатися в поперечному напрямку й по вертикалі, що реалізується шляхом накладення заборони на переміщення нижніх граней опорних балок. Зусилля, що виробляється приводними двигунами, можна реалізувати, застосовуючи еквівалентну за величиною силу до крайніх граней опорних балок у напрямку руху моста. Дію сили тяжіння можна врахувати, увівши розподілену по всьому об'єму конструкції силу, яка обчислюється як $F = g\rho$, де ρ – щільність матеріалу.

Установивши візок у середній точці і доклавши протягом 1 секунди до крайніх граней зусилля, отримаємо наведені на рис. 2 графіки складників швидкостей по двох осях: горизонтальній, уздовж якої здійснюється рух, і вертикальній.

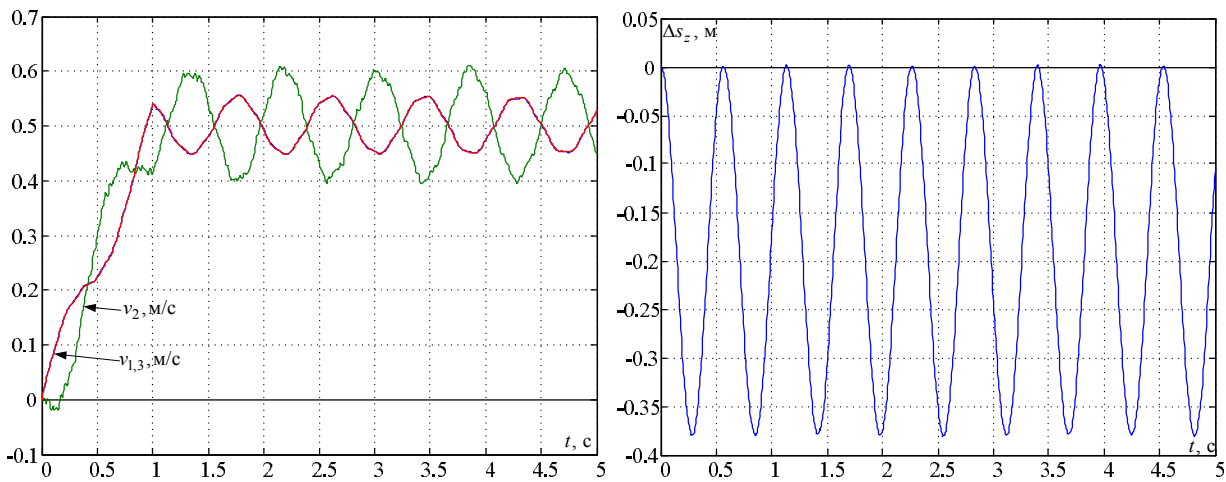


Рис. 2. Графіки горизонтальних швидкостей і вертикальної деформації при центральному розташуванні візка

Графіки горизонтальних швидкостей отримані для крайніх точок конструкції, а також візка. Вертикальні переміщення можливі лише для головних балок, тому величину деформації балок у вертикальному напрямку фіксуємо в точці, у якій встановлена візок. Очевидно, що, зважаючи на симетричність конструкції, швидкості в крайніх точках абсолютно ідентичні. Вертикальні коливання мають незгасальний характер, оскільки сили внутрішнього в'язкого тертя не були враховані під час створення моделі.

На рис. 3 наведені графіки тих же сигналів з урахуванням сил внутрішнього тертя. У цьому випадку спостерігають поступове затухання коливань, яке тим сильніше, чим вища їхня частота.

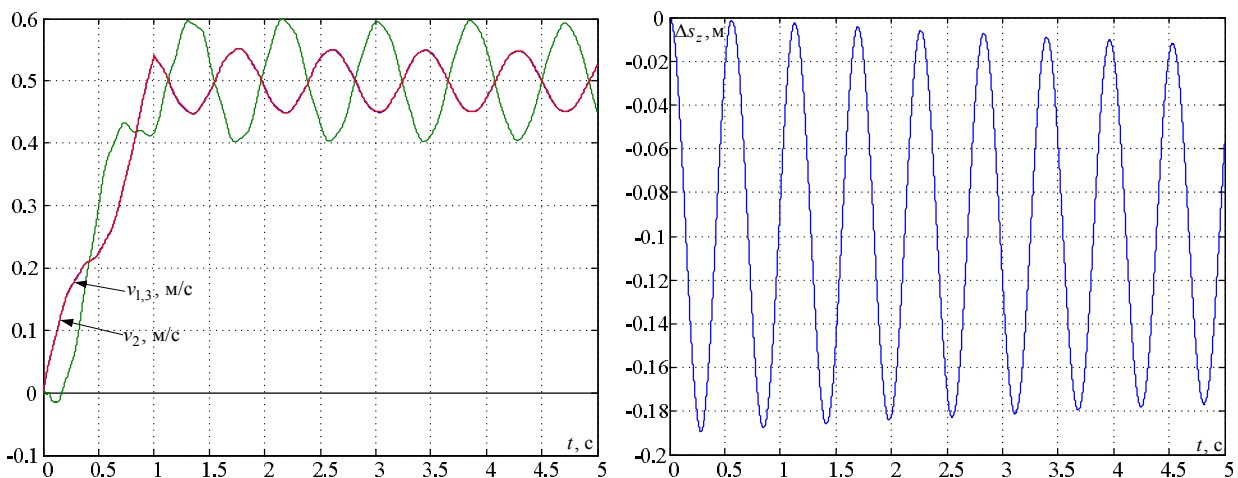


Рис. 3. Графіки горизонтальних швидкостей і вертикальної деформації під час обліку сил внутрішнього тертя

Отже, розроблена модель дозволяє проводити дослідження пружних коливань конструкції мостового крана за різних положень візка й дії різних сил.

Складнішим є процес створення моделі баштового крана, оскільки вона має ґратчасту структуру, що складається з великої кількості балок різного перетину. З одного боку, усі балки можна представити у вигляді тонкостінних елементів, оскільки товщини застосовуваних профілів незначні порівняно з довжиною кожного окремо взятого елемента. З іншого боку, процес створення такої моделі є вкрай складним, а процес моделювання – вимогливим до обчислювальної потужності. Склавши конструкцію із суцільних тіл, можна було б домогтися достатньої простоти моделі за незначної втрати точності результатів. Тим не менше для баштового крана ключовою величиною є кут повороту, можливість прямого вимірювання якого в цьому випадку відсутня. Виходячи з цих міркувань, модель конструкції баштового крана складемо з тонких балкових елементів, кожному з яких поставлено у

відповідність деякій перетин, що визначає його жорсткість у всіх напрямках. У якості опорних даних для створення моделі була взята інформація про кран WOLFF 6071 фірми Wolffkran AG. Розроблена модель наведена на рис. 4.

Під час створення цієї моделі були прийняті деякі допущення. Зокрема з розрахунку був виключений візок із підвішеним до нього вантажем. На відміну від мостового крана, вантажний візок має значно меншу масу, а тому несуттєво впливає на динаміку всієї системи. Привод переміщення візка й підйому вантажу, а також противагу представляємо у вигляді зосереджених мас, розташованих у вказаних на рис. 4 точках.

З урахуванням того, що бібліотека балкових елементів не дозволяє проводити вимірювання швидкості, а в перехідних процесах з переміщення пружні коливання менш виражені, у якості вимірюваного сигналу приймемо різницю кутів повороту між точками, розташованими на осі обертання й кінці стріли. Отриманий графік представлений на рис. 5.

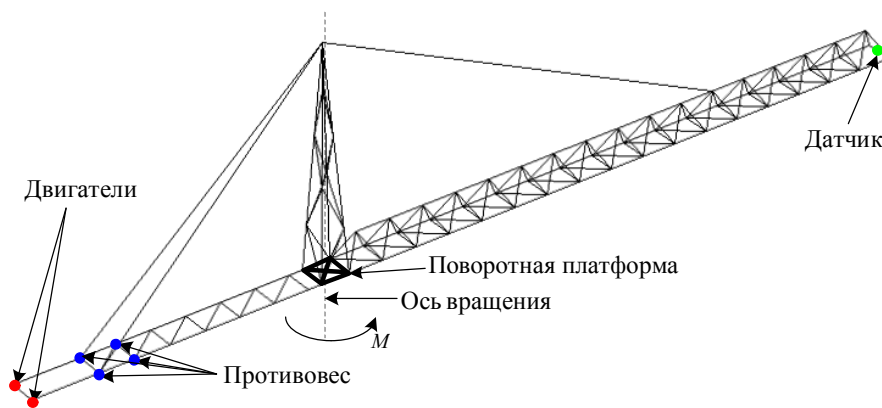


Рис. 4. Модель баштового крана

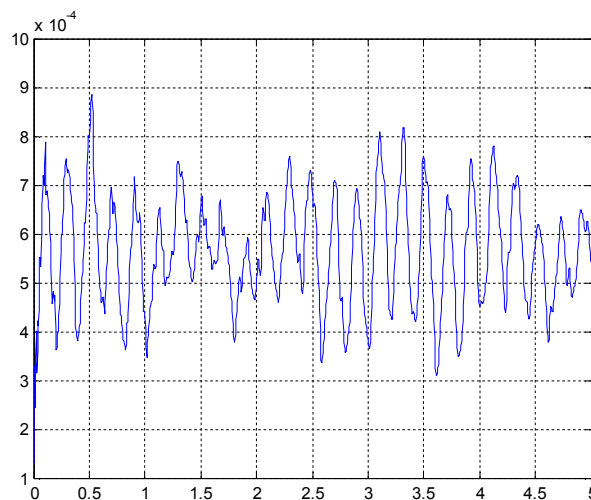


Рис. 5. Різниця кутів повороту

Очевидно, що характер коливань порівняно з мостовим краном значно складніший. Є декілька гармонійних складників, кожен з яких відповідає певному режиму власних пружних коливань конструкції. Доповнивши модель силою тяжіння або прикладаючи до балок деяке навантаження, що імітує дію вітру, можна отримати аналогічні графіки, що показують особливості деформації конструкції в тому чи іншому випадку.

Висновки. Пакет Comsol Multiphysics дозволяє розробляти моделі, які досить точно відображають динаміку пружних механічних конструкцій. За наведеною методикою можна розробити модель конструкції довільної кранової установки і провести дослідження її пружних коливань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Comsol Multiphysics User's Guide. Version 4.2, 2011.

Бажутін Денис Володимирович – аспірант, кафедра електропривода та автоматизації промислових установок, E-mail: denys.bazh@gmail.com.
Донецький національний технічний університет.