УДК 62-83- 004.94

Канашевич Г.В., докт. техн. наук, професор
Коваленко О.О., канд. техн. наук
ХижнякЄ.В., канд. техн. наук
Черкаський державний технологічний університет, tomv@chdtu.edu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ MOVEO

В сучасному промисловому середовищі переважають вузькоспеціалізовані маніпулятори, здатні виконувати лише заздалегідь задані та позбавлені зворотного зв'язку дії. Їх жорстка «заточеність» під один процес все частіше вступає у конфлікт з потребою оперативно змінювати номенклатуру та обсяги продукції, а відповідно – з вимогами ринку до гнучкості та рентабельності.

Один із найефективніших шляхів подолати це протиріччя – перейти до багатовісьових інтелектуальних робототехнічних комплексів. Такі системи завдяки універсальній кінематиці легко переналаштовуються, однак їх впровадження супроводжується значними витратами й вимушеними простоями. Щоб мінімізувати ці ризики, визначити оптимальні стратегії керування промисловими маніпуляторами ми відтворили діючу модель роботизованої руки Moveo на основі відкритих даних від фірми-розробника BCN3D Technologies (Іспанія) [1].

При аналізі оригінальної конструкції маніпулятора Moveo (рис.1), ми визначили ряд технічних рішень, які можуть бути вдосконалені, насамперед для більшої відповідності роботизованого комплексу завданням промислового використання. Для цього нами було створено цифрову модель-копію роботизованої руки Moveo, на якій в подальшому проводиться повний цикл комп'ютерного аналізу і випробувань.

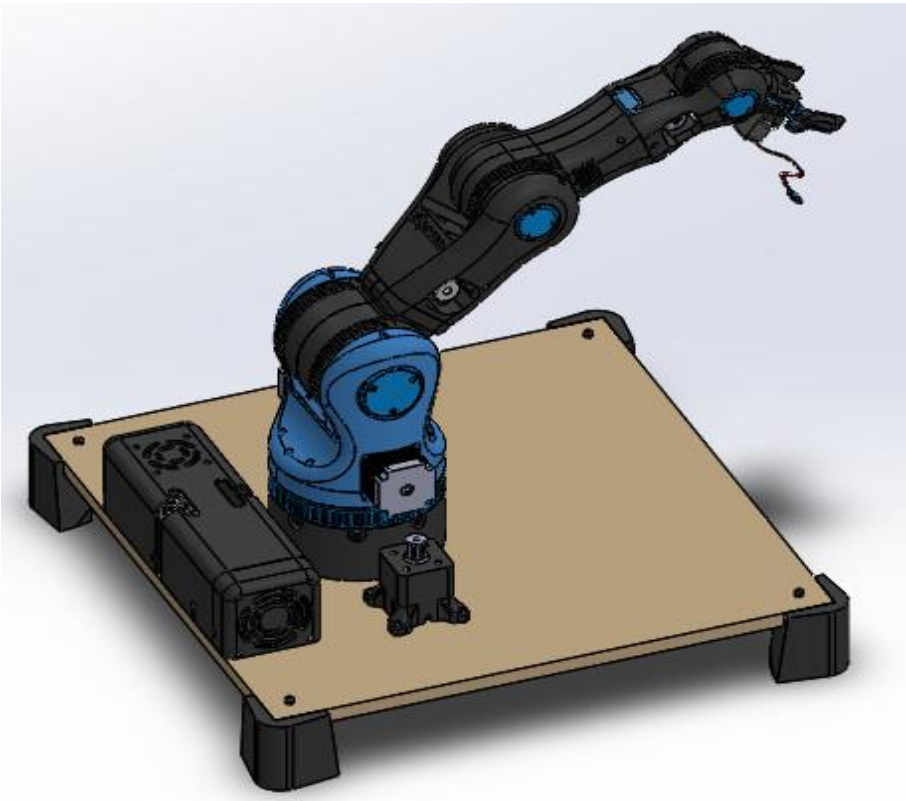


Рис.1 – Зовнішній вигляд 3D моделі роботизованої руки Moveo з виділеним елементом (синій колір), який досліджувався

В основі підходу лежить багатоетапне комп’ютерне моделювання навантажень і напружень в середовищі програмних продуктів MATLAB, COMSOL. Кожен елемент конструкції в CAE-середовищі проходив перевірку на міцність під різними робочими сценаріями; результати негайно враховувалися при формуванні нової геометрії. Таким чином виходило не просто «перерахувати» міцність, а вбудувати її в ітеративну оптимізацію: масу знижували там, де запас був надлишковим, а критичні зони посилювали ребрами чи зміною перерізу. Гнучкість FDM-друку надає змогу оперативно перевіряти чергову версію вже у пластику PLA або PETG і знову повертатись до віртуального стенда.

Для прикладу представлено виконання модального аналізу в середовищі MATLAB.

Модальний аналіз використовують для вивчення власних частот, форм коливань та демпфування об'єкта. Основні цілі модального аналізу:

1. *Визначення власних частот системи.* Щоб з’ясувати, при яких частотах конструкція або механізм буде резонувати — це критично для уникнення руйнування чи надмірних вібрацій.

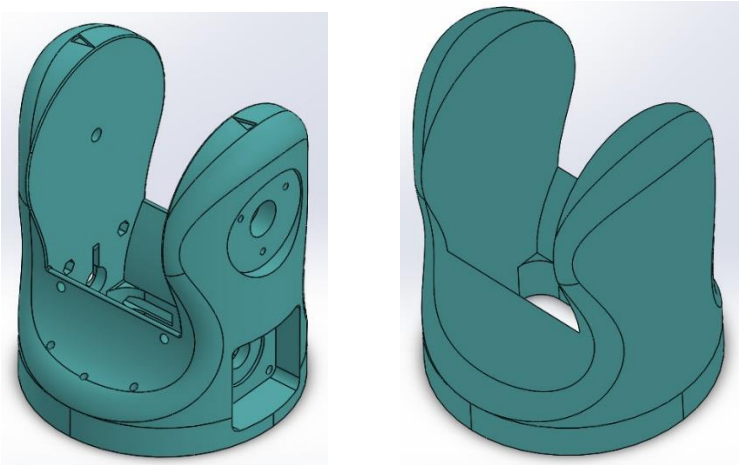
2. *Аналіз форм власних коливань.* Показує, як саме об'єкт деформується під дією коливань — де виникають максимальні переміщення, вигини тощо.

3. *Оцінка демпфування (загасання).* Допомагає зрозуміти, наскільки швидко в системі зникають коливання після припинення зовнішнього впливу.

4. *Підготовка до гармонічного та спектрального аналізу.* Модальний аналіз часто є першим етапом перед більш складними аналізами — наприклад, динамічним навантаженням у часі або частотній області.

5. *Оптимізація конструкції.* Допомагає уникнути збігу робочих частот із резонансними, а також зменшити масу чи жорсткість, не погіршуючи динамічну стабільність.

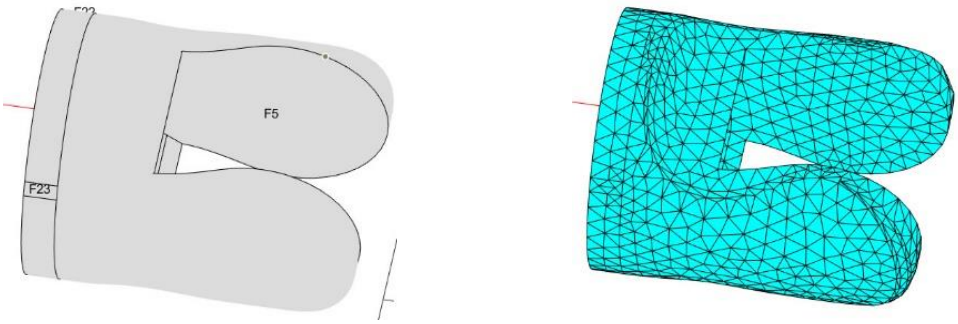
Для виконання модального аналізу використано Partial Differential Equation Toolbox, MATLAB – інтегрування систем рівнянь в частинних похідних кінцевоелементними методами [2]. Оскільки такий алгоритм передбачає розбиття геометрії об’єкта кінцевоелементноє сіткою, 3D-модель була спрощені з метою видалення несуттєвих для точності аналізу деталей, які б значно ускладнили сітку та ускладнили або навіть унеможливили отримати результат.



а) б)

Рис.2 – Оригінальна (а) та спрощена (б) модель деталі.

Для проведення модального аналізу інформація про геометрію деталі була імпортована в PDE-toolbox у вигляді STL файлу спрощеної моделі та автоматично розбита кінцевоелементною сіткою.

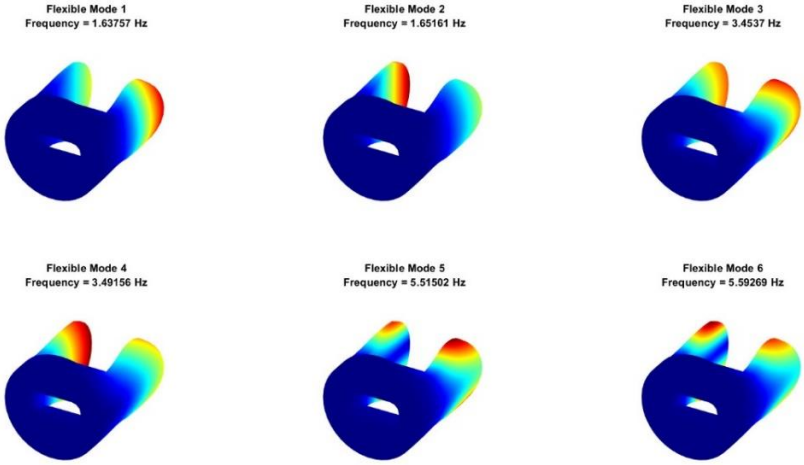


а) б)

Рис.3 – Передана в PDE-toolbox геометрія деталі (а)
та розбиття її кінцевоелементою сіткою (б).

В результаті вирішення кінцевоелементної задачі було отримано перелік власних частот коливань. Також можлива візуалізація рішення – деформації частин деталі на різних частотах.

Mode	Frequency
1	1.6376
2	1.6516
3	3.4537
4	3.4916
5	5.515
6	5.5927
7	8.3337
8	8.6053



а) б)

Рис.4 – Результати моделювання: список власних частот (а)
та візуалізація деформації деталі на перших шести частотах (б).

Висновки

Отримана інформація про власні частоти коливань окремих рухомих ланок робота має важливе значення як в суто практичному так і в теоретичному сенсі. Частотний аналіз конструкції дозволяє зробити висновки про загальну жорсткість елементів, про схильність до резонансних коливань в процесі виконання тих чи інших завдань тощо.

Завдяки даному циклу «цифровий аналіз → фізична перевірка → цифрова корекція» нам вдалось підвищити питомий показник «вантажопідйомність / маса» маніпулятора, зменшити люфти у шарнірах і продовжити ресурс найбільш навантажених вузлів.

Список посилань

1. BCN3D Technologies. BCN3D Moveo - A fully open source 3D printed robot arm [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://github.com/BCN3D/BCN3D-Moveo (дата звернення: 28.04.2025).

2. Partial Differential Equation Toolbox [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mathworks.com/products/pde.html