

ПРУЖНІ ОПОРИ РОТОРНИХ СИСТЕМ З КЕРОВАНОЮ КВАЗІНУЛЬОВОЮ ЖОРСТКІСТЮ

Клітної В.В., Гайдамака А.В.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Підвищення експлуатаційної надійності роторних систем при одночасному зниженні їхньої маси та габаритів нерозривно пов'язане з необхідністю збільшення частоти обертання роторів. Робочі швидкості роторних систем багатьох сучасних машин лежать вище за перші власні частоти. Тому при розгоні та гальмуванні ротор проходить через кілька резонансів, при цьому виникають вібрації, які супроводжуються великими динамічними навантаженнями.

Для зменшення навантажень підшипників, зниження амплітуд коливань на робочих швидкостях і при переході через критичні в роторних системах застосовують пружні опори.

Відомі конструкції пружних опорних систем ротора можна розділити на два класи: опори з пружними елементами, що зберігають форму стійкості, і опори з пружними елементами квазінульової жорсткості.

До першого належать на сам перед різноманітні еластичні кільця, амортизуючі плівки, відомі пружні опори типу біляча клітка. Крім того у літературі можна знайти роботи в яких ротори, встановлені на елементах з в'язкопружних матеріалів, або на підшипниках, виготовлених з цього типу матеріалу. Розглянуті опори не вирішують повністю проблему зниження вібраційної активності, оскільки не здатні миттєво і в необхідних межах змінювати жорсткість при проходженні через резонанс.

Перехід ротора через резонанс з миттєвою зміною жорсткості може бути забезпечений шляхом використання пружних систем із квазінульовою жорсткістю. Ефективність таких віброзахисних систем безпосередньо пов'язана з питаннями їх налаштування. Як правило потрібно досить точне налаштування на розрахункове навантаження, інакше можливий розлад системи та зниження ефективності роботи. Цей недолік може бути усунений шляхом застосування віброзахисних систем з квазінульовою жорсткістю, які допускають її перебудову на різні навантаження. Перспективним бачиться використання в таких системах п'єзокерамічних елементів.

На зазначених раніше принципах розроблені конструктивні рішення віброзахисних систем [1, 2]. Позитивний ефект запропонованих моделей пов'язаний з тим, що реакція системи відстежується за допомогою допоміжного керуючого елемента і як вхідний сигнал надходить до системи активного контролю, яка в свою чергу аналізує сигнал і, використовуючи алгоритм управління, змінює пружні властивості центрального активного елемента, за рахунок чого продовжується дія квазінульової жорсткості.

Аналітичний підхід до вирішення проблеми віброзахисту прецизійних роторних систем з пружними адаптивними елементами квазінульової жорсткості передбачає розробку основ теорії їхнього функціонування та комплексу

математичних моделей. Математична модель пружної опори з квазінульовою жорсткістю представлена в наступній роботі [3].

Найважливішим етапом проектування активної віброзахисної системи є розробка електромеханічної моделі п'єзокерамічних елементів. У ряді випадків співвідношення можна суттєво спростити, переходячи від вихідної тривимірної задачі до одновимірної або двовимірної. При побудові математичної моделі п'єзокерамічних тіл важливо врахувати функцію, яку виконує елемент – сенситивну або актуативну. Взаємозв'язок між роботою керуючих адаптивних елементів та активного елемента може бути здійснена за допомогою однієї з перспективних та широко використовуваних схем методу контролю зі зворотним зв'язком за швидкістю переміщень[3].

Розв'язання задач віброізоляції прецизійних роторних систем із застосуванням адаптивних п'єзокерамічних елементів, що управляють, квазінульовою жорсткістю вимагає застосування чисельних методів. В роботі [3] розглядалися гармонійні коливання, що виникають під впливом зовнішнього навантаження. Для опису зовнішніх чинників були використані середньостатистичні значення. Проведено аналіз коливань роторної системи з 2 підшипниками з адаптивною квазінульовою жорсткістю в схемі управління зі зворотнім зв'язком за швидкістю переміщень в діапазоні власної частоти. Ротор вважався жорстким і симетричним. Схема управління моделювалася на принципах покладених в ідею запропонованої моделі пружної опори. Для визначення управляючої напруги заздалегідь був проведений стаціонарний аналіз, результати якого включалися в структуру основного розрахунку. Частота і навантаження, що задавалися в процесі числового дослідження, фіксувалися. На першому кроці управляюча напруга задавалася випадково, після чого проводився стаціонарний розрахунок і визначалася величина переміщень. З урахуванням величини переміщень обчислювалася управляюча напруга значення якої порівнювалось з тією, що задавалася в стаціонарному аналізі. Процес продовжувався доти, поки різниця між ними не виявлялася рівною нулю.

Результати чисельних досліджень підтвердили доцільність використання запропонованої моделі. У неконтрольованому випадку в частотній області чітко видно резонанс, у контрольованому випадку піки амплітуди усуваються.

Література:

1. Патент 125538 Україна. Активна віброзахисна система з адаптивною квазінульовою жорсткістю для підшипникових опор роторних систем[Текст] / Гайдамака А.В., Клітної В.В. – Заявник і патентовласник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; заявлено 22.12.2017; опубліковано 10.05.2018 – Бюл. 9. – 2 с.

2. Патент 145575 Україна. Активний корпус шпинделя [Текст] / Гайдамака А.В., Клітної В.В., Клітної В.В., Наумов О.І., Бородин Ю.Д. – Заявник і патентовласник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; заявлено 30.06.2020; опубліковано 28.12.2020 – Бюл. 24. – 4 с.

3. Klitnoi V. On the problem of vibration protection of rotor systems with elastic adaptive elements of quasi-zero stiffness / V. Klitnoi, A. Gaydamaka // Diagnostyka. – 2020. – 21(2) – P. 69–75.