

УДК 629.7.01

С. В. Єніфанов, С.Ю. Свєженцев, К.М. Підгорський

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСНИХ ЧАСТОТ РОТОРНОЇ СИСТЕМИ ВЕРТОЛЬОТУ З УРАХУВАННЯ ВПЛИВУ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

При проектуванні вертолітних силових установок виникає проблема узгодження двигунів з вертольотом, яке виконується в декількох напрямках: масо-габаритні параметри, центрування, узгодження питомої та наявної потужності в заданому діапазоні польотних умов, узгодження роботи паливної, повітряної та інших систем. Один з цих напрямів – узгодження частотних характеристик силової установки та роторної системи вертольоту, зокрема забезпечення вибору частоти керування двигунами з метою запобігання резонансу з роторною системою. Упровадження цифрових систем автоматичного керування дозволяє суттєво покращити якість керування авіаційними газотурбінними двигунами: точність підтримування та обмеження заданих значень параметрів, швидкодія та стійкість. Проте дискретність керування спричиняє коливання крутильного моменту на вивідному валі, який проводиться свільною турбіною, частота яких може бути близькою до однієї з власних частот роторної системи.

В роботі розглянуто завдання визначення власних частот крутильних коливань роторної системи вертольоту. Система складається з двох двигунів, сполучених з головним редуктором обгінними муфтами, ротора з втулкою головного гвинта та хвостового гвинта з відповідною трансмісією. Сполучення цих елементів утворює розмержену роторну систему, модель якої утворена сполученням обертових інерційних мас, пов'язаних з валами, які мають крутильну пружність і демпфування. При формуванні моделі було ураховано, що, якщо використовувати значення моментів інерції, коефіцієнтів жорсткості та коефіцієнтів демпфування, які зведені до частоти обертання одного ротора, то можна розглядати систему, всі елементи якої обертаються з тією ж частотою, що й цей ротор.

Розглянуто декілька методів визначення власних частот крутильних коливань:

- 1) аналітичні методи, основані на складанні системи диференціальних рівнянь руху системи аналітичному визначенні коренів характеристичного рівняння;
- 2) чисельний метод, оснований на складанні матриці системи та чисельному пошуку її власних чисел, які є квадратами шуканих власних частот;
- 3) чисельний метод, оснований на реалізації математичної моделі роторної системи в програмному середовищі об'єктно-орієнтованого моделювання тавикористанням побудованих функцій частотного аналізу.

Роторна система вертольоту, що розглядається, має десять пружних елементів. Відповідно, система диференціальних рівнянь, характеристичне рівняння та матриця системи мають десятий порядок.

Розглядаючи аналітичні методи (пряме розв'язання характеристичного рівняння, метод Хольцера, метод Толлета метод ланцюгових дробів Терських, ми переконалися в тому, що ці методи доцільно використовувати для систем не вище четвертого-п'ятого порядку внаслідок втрати точності та високої ймовірності технічних помилок. Найбільш ефективним виявилось застосування чисельного моделювання роторної системи в середовищі Simulink/Matlabi з використанням бібліотеки Simscape.

У ході моделювання отримано наступні результати:

1) Вивчено та описано моделі основних елементів, з яких можна скласти модель роторної системи: інерційна обертова маса, обертова пружина, обертовий демпфер, задатчик крутильного моменту, датчик кутового переміщення, генератори сигналів, реєстратори сигналів і блок формування діаграми Бode.

2) Складено моделі найпростіших роторних систем: одновального дводискового ротора та двовального тридискового ротора.

3) Результати моделювання порівняно з результатами аналітичного аналізу цих систем. Показано, що у частотному діапазоні, який становить інтерес, вони повністю співпадають. Це дозволяє визнати верифікацію методу успішною та рекомендувати його для застосування до більш складних систем.

4) У результаті моделювання двовальної тридискової системи підтверджено теоретичний висновок про те, що демпфування практично не впливає на власні частоти системи, однак може суттєво зменшити резонансні амплітуди. Тому запропоновано в подальшому визначити власні частоти без урахування демпфування.

5) Визначено характерні конфігурації роторної системи для наступного аналізу, які можуть мати різні частотні характеристики: штатна конфігурація з двома працюючими двигунами, конфігурація з одним працюючим двигуном і конфігурація в режимі авторотації.

6) Складено математичні моделі та за допомогою частотного аналізу визначено основні власні частоти для кожної конфігурації роторної системи.

7) Отримані результати підтверджено використанням альтернативного – матричного – методу аналізу.