

Обоснован и метод балансировки воздушных винтов без применения отметки угла, а необходимые при этом построения приведены на рис. 4.

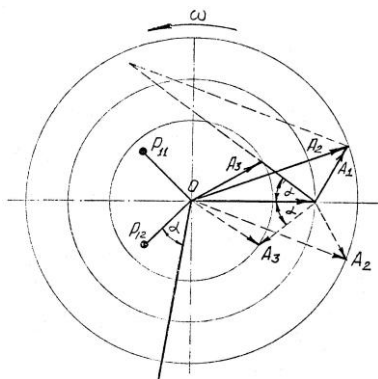


Рис. 4. Векторные построения при балансировке без отметки угла

Изложенные методы использованы для балансировки воздушных винтов АВ-68 на самолётах ИЛ-18 и АН-12, и воздушных винтов АВ-72 на самолётах АН-24 и дали существенный экономический эффект.

Литература

1. Левит М. Е. Вибрация и уравнивание роторов авиадвигателей / М. Е. Левит, В. П. Ройзман. – Москва : Машиностроение, 1970. – 170 с.
2. Пат. № 2082072 Российская Федерация, G01B5/20. Способ балансировки лопаточного колеса машины и устройство для определения геометрических параметров лопаток лопаточного колеса машины / Л. А. Жаворонков ; патентообл. Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова. – № 94015714/11 ; заявл. 28.04.1994 ; опубл. 20.06.1997.

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ СУЧАСНОГО РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ РІДИННОГО АВТОМАТИЧНОГО БАЛАНСУВАННЯ РОТОРНИХ СИСТЕМ

*Ромащенко І. В.¹, Драч І. В.², Хмельницький національний університет
E-mail: ¹romashchenko.iryana@gmail.com, ²cogitare@list.ru*

Роторні системи широко використовуються у виробництві різних галузей. Однією із основних причин виходу з ладу систем є вібра-

ція. Сильна вібрація, що виникає під час роботи виробничих машин, може зруйнувати підшипники, шахти і потенційно завдати збитків виробництву. Саме тому, дослідження процесу роботи роторних систем та відшукування нових шляхів їх балансування є актуальною проблемою.

Існує два способи зменшення небажаних вібрацій, що виникають внаслідок дисбалансу роторних механізмів: ручний і автоматичний. Оскільки часто є неможливим виконати на працюючому обладнанні ручне балансування, науковці впродовж тривалого часу досліджували способи автоматичного балансування обладнання за рахунок використання простих пристроїв, які дозволяють перерозподіляти маси для компенсації невідомого дисбалансу.

Проаналізуємо останні роботи, присвячені проблемам автоматичного балансування роторів машин пасивними автобалансуючими пристроями (АБП).

У статті [6] аналітично та чисельно залежно від коефіцієнтів в'язкого зовнішнього і внутрішнього тертя визначаються кутові швидкості, при яких гнучкий, симетричний ротор з поплавковим автобалансуючим пристроєм втрачає динамічну стійкість. При цьому розглядаються гіроскопічні, а також уточнені інерційні та потенційні сили системи. В результаті досліджено ефективність застосування такого пристрою на швидкохідних роторах.

У дослідженні [1] отримана умова стійкості обертання ротора з рідинним автобалансуючим пристроєм, що складається з камери, поплавка і нестисливої однорідної рідини, яка заповнює простір між ними. На ротор діють відновлювальна сила, сили внутрішнього і зовнішнього тертя, які лінійно залежать відповідно від швидкості деформації і абсолютної швидкості точки кріплення ротора до валу.

Дослідницька робота [9] присвячена динаміці так званого рідинного балансира – кільцеподібної структури з обручем, що містить невелику кількість рідини, яка під час обертання деформується для утворення тонкого шару рідини на внутрішній поверхні зовнішньої оболонки кільця. Показано, що рідина здатна протидіяти незбалансованій масі в пружно встановленому роторі. У цій роботі дається докладний опис наближеного аналітичного рішення, що включає так звану кної-дальну хвилю і чисельно показано, як поверхнева хвиля може врівноважити незбалансовану масу. Динаміка флюїдизатора рідини була досліджена на основі моделі двоступеневої системи, а збурення товщини рідинного шару описується узагальненим рівнянням Кортевега-де Фріза-Бюргерса.

У статті [4] подано модель поведінки рідинного автобалансуючого пристрою. Під час проведення математичних досліджень використано модель ротора, що містить резервуар-обойму, який закріплю-

ється на жорсткому валу, що має можливість обертання в підшипниках. Внаслідок моделювання встановлюють, що амплітуда коливань на закритичних частотах буде тим менше, чим більшими є параметри рідинного автобалансуючого пристрою. Крім того, розрахунки показують, що ефективність автоматичного балансування тим вища, чим більші параметри рідинного автобалансуючого пристрою. Виконання умови достатності рідини в об'ємі призводить до незалежності амплітуди коливань ротора від маси рідини в резервуарі.

У статті [2] вивчається обертання ротора з шаром рідини на стінці камери при в'язкопружній дії валу. Дослідження здійснюються в рамках плоскої моделі та направлені на визначення відхилення валу, що обертається, з камерою заповненою рідиною. Дане завдання є важливим при проектуванні автоматичного балансууючого пристрою. В математичному дослідженні розглядається задача спільного руху твердого тіла і рідини, що вирішується із застосуванням принципу Даламбера. У результаті встановлено, що збільшення маси рідини в роторі зменшує його критичну швидкість обертання, при цьому зовнішнє тертя прискорює самоцентрування системи. Отримані математичні моделі дозволяють здійснювати вибір конструктивних параметрів рідинного автоматичного балансууючого пристрою, що працює в заданому діапазоні кутових швидкостей ротора.

Автори статті [12] пропонують альтернативний механізм підвищення стійкості ротора з використанням балансира Ле Бланка. У дослідженні встановлюється наступне: коли порожнина, заповнена рідиною, забезпечена рядом радіальних дефлекторів, нестійка поведінка різко змінюється, допомагаючи системі досягти більш вищі стабільні робочі швидкості. Виявлено, що балансування кілець і інерція рідини відіграють важливу роль у виникненні нестабільності.

Мексиканські дослідники у [7] звернули увагу на активне віброкерування несучих роторних систем, які використовують активні диски для активного балансування ротора. Цей підхід полягає в розміщенні балансууючої маси в потрібному положенні. Оскільки, ця активна схема управління вимагає інформації про ексцентриситети, пропонується новий метод алгебраїчної ідентифікації для оцінки параметрів ексцентриситету. Цей підхід є досить перспективним в тому сенсі, що з теоретичної точки зору алгебри ідентифікація практично миттєва і стійка щодо невизначеності параметрів, змін частоти, невеликих похибок вимірювання і шуму. Таким чином, алгебраїчна ідентифікація об'єднується з двома схемами управління, щоб помістити балансууючу масу в правильне положення для усунення дисбалансу ротора. Регулятор швидкості призначений для того, щоб швидкість ротора досягала бажаної робочої точки протягом першої критичної швидкості, щоб показати

зниження вібрації. У дослідженні [3] охоплюються особливості роботи рідинного автобалансуючого пристрою. Найчастіше вирішення проблеми підвищення ефективності автоматичного балансування виконується за рахунок використання багаторезервуарного пристрою, що призводить до збільшення еліпсності і ексцентриситету внутрішньої поверхні резервуара. Результати роботи зазначають, що точність балансування не залежить від ексцентриситету обойми у всіх випадках орієнтації вектора дисбалансу.

Биков В. Г. та Ковачов А. С. у [8] досліджували статично незрівноважений ротор, оснащений пристроєм автоматичного балансування з кулею, вісь симетрії якої відрізняється від осі обертання ротора. Проста модель ротора Джеффкотта використовується для виведення рівнянь руху системи в нерухомих і обертових системах координат, а також рівнянь, що описують сталі режими руху. Принципова неможливість досягти збалансованого режиму показана для ротора зі змінним дисбалансом. Вказано, що для пристрою автоматичного балансування, який складається з двох куль, можливі два типи незрівноважених стаціонарних режимів. Пропонується назвати стаціонарний режим з постійним залишковим коливанням, амплітуда якого не залежить від кутової швидкості і дорівнює ексцентриситету балансира, напівзбалансованим. Побудовано розв'язок, відповідного напівзбалансованого режиму, і запропоновані умови його існування і стійкості. Чисельні методи використовуються для побудови двопараметричних діаграм стійкості напівзбалансованого стаціонарного режиму і вивчення нестаціонарних станів руху ротора в разі його обертання з усталеною кутовою швидкістю.

Для моделювання поведінки рідинного автобалансуючого пристрою [5] та проведення математичних досліджень використовується модель ротора, що містить резервуар-обойму, яка закріплюється на жорсткому валу, що має можливість обертання в підшипниках. Крім того, використано автобалансуючий пристрій з декількома резервуарами. У статті наведена схема сил діючих в багаторезервуарній системі балансування. Встановлено, що ефективність автоматичного балансування збільшується зі зростанням числа резервуарів, а критична частота обертання ротора зменшується з ростом числа резервуарів.

Поряд з цим, А. Б. Кидирбекули [10] досліджує нелінійну динаміку ротора із заповненою рідиною порожниною. Передбачається, що ротор забезпечений підшипниками обертання і пружно підтримується фундаментом. Досліджувана система моделює вертикальні центрифуги, широко використовувані для поділу різних гетерогенних сумішей. Збільшення швидкостей обертання поряд з вимогою високої точ-

ності роботи мотивує вдосконалене моделювання з урахуванням деформації підшипників кочення. Розроблена та досліджена узагальнена динамічна модель системи ротора з урахуванням нелінійної жорсткості підшипників кочення разом з коливаннями рідини. Отримані результати дозволяють оптимізувати параметри ротора, фундаменту і рідини, і становлять інтерес для зменшення напруги уздовж контактних поверхонь, амплітуд вимушених коливань і ширини зон нестійкості. Існує також можливість адаптації умов, що підтримують самоцентрування системи.

Щоб зменшити вібрацію обертового обладнання автоматично в процесі роботи, в [11] був запропонований новий тип активної системи балансування рідиною. В системі балансування диск, розділений на чотири камери зберігання рідини, встановлений на роторі. Коли реакція дисбалансу обертового механізму вища за граничне значення, стиснене повітря вводиться в цільову камеру і приводить балансуєчу рідину до переміщення між протилежними камерами. За допомогою перерозподілу рідини в балансувальному диску створюється коригуюча маса для компенсації початкового дисбалансу. Балансуєчий пристрій може бути встановлено як в середині ротора, так і на двох кінцях. Також запропоновано метод цільового управління з використанням коефіцієнтів впливу для визначення мети балансування і розрахунку часу уприскування газу.

У 2002 році був зареєстрований патент Білім Д. М. [133], який пропонує пристрій, що включає співвісну з ротором і заповнену робочою рідиною обойму з розміщеними всередині неї балансувальними вантажами. Обойма розроблена у вигляді жорстко одягненої на ротор кільцевої трубки, яка усередині забезпечена укріпленням по її центральній осі жорстким кільцевим стрижнем, і моментними спіральними пружинами, які періодично встановлені в перпендикулярних поперечних перетинах (до осі трубки), пружини прикріплені до кільцевого стрижня внутрішніми кінцями, зі зверненням вільних зовнішніх кінців до периферії кільцевої трубки. В якості робочої рідини використана рідина, яка має властивість – збільшення в'язкості від стану плинності аж до повного затвердіння в процесі балансування, а балансувальні вантажі закріплені на вільних зовнішніх кінцях моментних спіральних пружин. На відміну від раніше запатентованих пристроїв балансування, робочий процес даного пристрою не залежить від орієнтації ротора в просторі. Ефект самобалансування діє не тільки під час підтримки обертання, а фіксується і стає невід'ємною властивістю даної динамічної системи при її експлуатації в широкому діапазоні зовнішніх впливів і кутових швидкостей.

На основі використання легкоплавких речовин (сплаву Вуда) Козіним В.М. розроблено способи і пристрої для автоматичного балансування роторів, захищені рядом патентів РФ на винаходи (2002–2010 рр.).

Отже, існує достатньо велика кількість досліджень роторних систем, які проведені у XXI ст. Однак, все ще постає багато питань щодо автобалансування роторів рідинами. До цього призводить відсутність теорії рідинних автобалансуючих пристроїв, яка адекватна реальній системі ротор – рідинний АБП.

Спостерігається суттєве зменшення кількості нових патентів для рідинних АБП, що також свідчить про відсутність теоретичного підґрунтя для конструкторських розрахунків.

Вирішення проблем теорії і практики зрівноваження роторів рідинними АБП дозволить розширити області застосування простих і невибагливих конструкцій АБП з рідинними робочими тілами, що має важливе технічне, економічне і соціальне значення.

Література

1. Дубовик В. А. Устойчивость стационарного вращения неуровновешенного ротора с жидкостным автобалансирующим устройством на гибком валу / В. А. Дубовик, Е. Н. Пашков // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – № 2.
2. Дубовик В. А. Стационарное вращение неуровновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения / В. А. Дубовик, Е. Н. Пашков // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – № 4.
3. Пашков Е. Н. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки / Е. Н. Пашков, Н. В. Мартюшев, И. В. Кузнецов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2.
4. Пашков Е. Н. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами / Е. Н. Пашков, Н. В. Мартюшев, И. В. Кузнецов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1.
5. Исследование автобалансира с многорезервуарным устройством / Е. Н. Пашков, Н. В. Мартюшев, И. В. Кузнецов, И. В. Зиякаев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1.
6. Никифоров А. Н. Условия устойчивого вращения ротора с поплавковым автобалансирующим устройством / А. Н. Никифоров, Г. Я. Пановко, В. П. Ройзман // Изв. Рос. акад. наук. Механика твердого тела. проблемы науки и образования. – 2015. – № 3.
7. Automatic balancing of rotor-bearing systems / InTech. – 2012.

8. Bykov V. G. Dynamics of a rotor with an eccentric ball auto-balancing device / V. G. Bykov, A. S. Kovachev // DOI: 10.3103/S1063454114040037 Vestnik St. Petersburg University. – 2014.

9. Langthjem M. A. Dynamics of the fluid balancer: Perturbation solution of a forced Korteweg-de Vries-Burgers equation / M. A. Langthjem, Nakamura T. – 2013.

10. Nonlinear Vibrations of a Rotor-Fluid-Foundation System / A. Kydyrbekuly, L. Khajiyeva, A. Ybraev, J. Kaplunov // Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering. – 2016. – № 6.

11. Study on online active balancing system of rotating machinery and target control method / Pan Xin, Wu Hai-Qi, Gao Jin-Ji, Mu Yu-Zhe // Wseas transactions on systems. – 2014.

12. Urbiola-Soto L. Liquid self-balancing device effects on flexible rotor stability / L. Urbiola-Soto, M. Lopez-Parra // Shock and Vibration. – 2013.

13. Патент РФ № 2296309 від 10.12.2004. Устройство для автоматической балансировки роторов [Электронный ресурс] / Д. М. Белый. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/229/2296309.html>

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛА ГЕРМЕТИЗАЦІЇ КОНДЕНСАТОРА З РОЗДІЛЮВАНИМ КІЛЬЦЕМ

Возняк А. Г.

Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11

E-mail: andreyvoznuk@mail.ru

На рис. 1 схематично зображено плівковий конденсатор К78. Корпус 3 являє з себе тонкостінну циліндричну оболонку, в якій розміщена секція конденсатора, негерметично закрита текстолітова перегородка 4, яка має отвір для контактного виводу 1.

Після того, як конденсатор був зібраний, зі сторони його вільного торця проводиться заливка герметизуючим компаундом. Полімеризація цього компаунда проходить при температурі 100 °С. По такій же схемі організуються гермовузли ємностей найрізноманітнішої форми, розмірів, назв. В ці ємності вварюються горловини, в яких і організуються подібні гермовузли.

Відшарування і розтріскування компаунда відбувається внаслідок того, що при заливці компаунда, корпус і вивід розширюються вільно, а в ході охолодження і при термоциклюванні вони вже не можуть звужуватися незалежно, і внаслідок відмінності в коефіцієнтах лінійного температурного розширення матеріалів корпусу і герметизуючого компоненту на границях матеріалів виникає контактний тиск,