**Колодяжна Любов Володимирівна. Самозбудні коливання лопаткових вінців турбомашин у нестаціонарному трансзвуковому потоці газу : Дис... канд. наук: 05.05.16 - 2002.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Колодяжна Л.В. Самозбудні коливання лопаткових вінців турбомашин у нестаціонарному трансзвуковому потоці газу. – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки.- Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків 2002.  На основі аналізу сучасному стану проблеми аеропружності зроблено класифікацію методів прогнозування аеропружних характеристик лопаткових апаратів турбомашин, а також сформульовано цілі та задачі цього дослідження.  Наведено нестаціонарний маршовий метод і чисельний аналіз аеропружного стану коливного лопаткового вінця у тривимірному трансзвуковому потоці, які грунтуються на розв’язанні зв’язаної задачі аеродинаміки та пружних коливань. Течія ідеального газу крізь багатоканальний вінець описується нестаціонарними рівняннями Ейлера, що інтегруються на рухомих сітках з використанням явної скінченно-об’ємної різницевої схеми Годунова - Колгана з другим порядком апроксимації. Динамічний аналіз використовує модальний підхід та тривимірну скінченноелементну модель лопатки.  Порівняння теоретичних та експериментальних результатів для стандартних конфігурацій компресорних та турбінних решіток показало якісне та кількісне задовільне співставлення.  Проведені дослідження для кільцевої решітки з відносно короткими лопатками (4-а стандартна конфігурація, ) і для робочого колеса останнього ступеня потужної парової турбіни з відносно довгимии лопатками ().  Отримані необхідні та достатні умови виникнення самозбудних коливань або автоколивань.  Проведені розрахункові дослідження показали, що для самозбудження власних форм коливань необхідно виконання, принаймні, трьох умов:  негативне аеродемпфування при стартовому режимі;  близкість частоти власних коливань до частоти кінематичних коливань;  кількість енергії, що підводиться від основного потоку до вібруючої лопатки, має бути сумірною з кінетичною енергією лопатки у стартовому режимі (вплив наведеної маси). | |
| |  | | --- | | 1.Досягнення у прогнозуванні флатера несумірно менші, ніж успіхи в дослідженні у нестаціонарній аеродинаміці або структурному аналізі, розвинених без урахування взаємовпливу, що не дозволяє коректно моделювати обмін енергією між двома фізичними середовищами.  2.Найбільш перспективним підходом у дослідженні аеропружної поведінки лопаткового вінця осьової турбомашини є модель зв’язаної задачі, яка включає тривимірну модель нестаціо-нарної аеродинаміки та модальний аналіз руху лопатки.  3. Розвинено чисельний метод розв’язання тривимірних нестаціонарних рівнянь газової динаміки (рівнянь Ейлера), що описують трансзвукову течію ідеального газу через обертовий вінець коливних лопаток з використанням принципу усталення та явної різницевої схеми Годунова-Колгана.  4. Вперше одержано тривимірне узагальнення різницевої схеми Годунова-Колгана для рухомих різницевих сіток. Побудовано алгоритм розв’язання задачі про розпад довільного розриву на рухомій грані з використанням ітераційного процесу.  5. Створено математичну модель зв’язаних коливань лопаткового вінця у потоці газу, що грунтується на одночасному чисельному інтегруванні повної системи рівнянь нестаціонарної аеродинаміки та пружних коливань лопаток.  6. Розроблено алгоритм і чисельний метод розв’язання зв’язаної задачї (так званий частково-інтегральний метод) з використанням модального підходу до описання руху лопатки.  7. Співставлення розрахункових та експериментальних результатів досліджень 1-ї та 4–ї стандартних конфігурацій показало задовільний якісний та кількісний збіг результатів як за інтегральними характеристиками (коефіцієнт аеродемпфування), так і за локальними (амплітуда та фаза нестаціонарного тиску).  8. Показано, що аеродинамічна стійкість (нестійкість) лопаткового вінця визначається зсувом по фазі аеродинамічного навантаження по відношенню до руху профілю. Зсув по фазі аеродинамічного навантаження, у свою чергу залежить від кута зсуву фаз коливань сусідніх лопаток.  Вплив кута зсуву фаз коливань лопаток приводить до можливості виникнення флатера по одній моді, що принципово відрізняє решітковий флатер від флатера одиночного крила.  9. Показано, що від’ємний знак коефіцієнта аеродемпфування при гармонічних коливаннях (підвод енергії до лопатки) є лише необхідною, але не достатньою умовою виникнення флатера. Розвиток самозбудних коливань залежить також від власних частот і коефіцієнта зведеної маси (відношення маси лопатки до маси газу, що протікає через вінець в одиницю часу ).  10. Наведено розрахункове дослідження аеропружних характеристик лопаткових вінців при різних режимах течії та законах коливань лопаток, що дозволило обгрунтувати вплив власних форм, частот кінематичного збудження та кутів зсуву фаз коливань лопаток на характер обміну енергією між основним потоком і вібруючими лопатками. Визначено зони стійких (нестійких) коливань.  11. При взаємодії власних форм коливань аеродинамічні навантаження, що діють на лопатки, нелінійно залежать від швидкості руху лопатки, що може призводити до граничних циклів коливань (автоколивань) зі сталими амплітудою та частотою. Автоколивання є стійкою формою коливань лопаток, при яких кількість підведеної до лопатки енергії та відведеної за один цикл коливань дорівнюють одна одній.  12. Розроблений метод чисельного розв’язання зв’язаної задачі нестаціонарної аеродинаміки та пружних коливань може застосовуватися для прогнозування аеропружних характеристик лопаткових вінців осьових турбомашин на стадії проектування. | |