

При фиксированной доле объектов, снимаемых с эксплуатации в течение заданного ресурса, допустимое с точки зрения оптимизации коэффициента оперативной готовности увеличение интенсивности отказов $K = \lambda_{\max}/\lambda_0$ тем больше, чем больше P_2 .

Список литературы

1. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высш. шк., 1982. – 308 с.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.

Стаття надійшла до редакції 06.07.01.

УДК 621.515-226.2

ББК 0 551.410.042.2-011.41 +
Р 232.330.410.561

Ю.М. Терещенко, В.М. Дихановський, Л.Г. Волянська

ТЕЧІЯ В'ЯЗКОГО СТИСНЕНОГО ГАЗУ НАВКОЛО ЩІЛИННИХ ЛОПАТОК ПЛОСКИХ КОМПРЕСОРНИХ РЕШІТОК

Викладено результати розрахунків течії в'язкого стисненого газу навколо суцільних та щілинних лопаток плоских компресорних решіток. Порівняння результатів розрахунків свідчить про досить добру збіжність результатів розрахунків з даними експериментальних досліджень, а також значне збільшення діапазону стійкого обтікання щілинної решітки.

Аеродинамічне удосконалення компресорів є одним із шляхів рішення загальної проблеми підвищення ефективності авіаційних газотурбінних двигунів, оскільки як на розрахунковому, так і на нерозрахункових режимах ефективність роботи компресорів визначається рівнем втрат в проточній частині. Особливе місце в рішенні проблеми удосконалення характеристик компресорів займають питання зриву потоку в лопаткових вінцях на нерозрахункових режимах. Зрив потоку є однією з головних причин, які знижують ефективність газотурбінних двигунів на нерозрахункових режимах роботи, оскільки призводить до зниження напорності і ККД компресора, виникнення зриву, який обертається, виникнення помпажу тощо. У зв'язку з цим однією з важливих задач аеродинамічного удосконалення лопаткових машин є попередження зривного обтікання лопаткових вінців і зниження рівня втрат, що обумовлені нерозрахунковістю течії та аеродинамічними слідами.

При аеродинамічному удосконаленні компресорів досить широко використовується дослідження течії навколо плоских компресорних решіток. Це дозволяє спростити розрахунок течії й виділити відрив потоку як окреме явище. Для переходу від течії у лопатковому вінці осьового компресора до течії навколо плоскої компресорної решітки поверхня току у вінці апроксимується циліндричною або конічною поверхнею. Ця поверхня розгортається на площину, і далі досліджується тільки течія навколо плоских компресорних решіток, які мають геометричні параметри, еквівалентні лопатковому вінцю.

В плоскій компресорній решітці на передзривних режимах обтікання тиск в пограничному шарі на спинці лопатки в напрямі потоку збільшується, течія загальмовується, і її кінетичної енергії не вистачає для подолання позитивного в напрямі потоку градієнта тиску на спинці лопатки. На рис.1,а показаний характер зміни профілю швидкості на спинці лопатки залежно від градієнта тиску в пограничному шарі. Внаслідок цього при великих кутах атаки відбувається відрив потоку.

Зрив можна не допустити або локалізувати, а інтенсивність аеродинамічних слідів за вихідною кромкою лопатки можна зменшити застосуванням енергетичних методів дії на течію в пристінних шарах, наприклад, вдуванням газу в пограничний шар або відсмоктуванням з пограничного шару. На рис. 1,б показаний характер зміни профілю швидкості на спинці лопатки при вдуванні та відсмоктуванні.

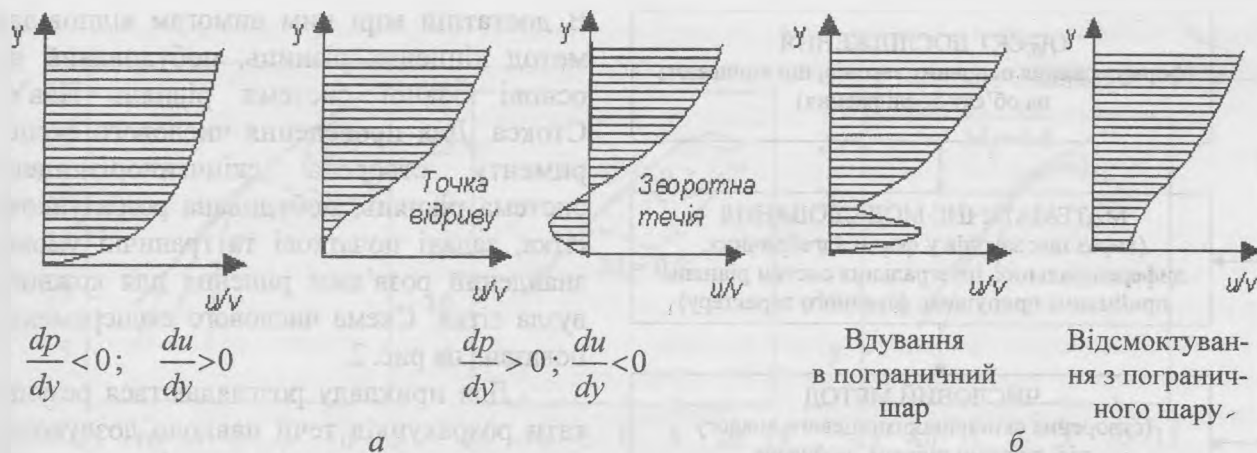


Рис. 1. Профілі швидкостей в пограничному шарі при різних умовах обтікання:
 а – лопатка без керування обтіканням; б – активне керування обтіканням

Досить докладний аналіз досліджень впливу енергетичних методів на течію в пристінкових шарах на ізольованих поверхнях наведено в роботах [1; 2; 3; 4]. За принципом дії на течію в пограничних шарах на спинці лопатки керування обтіканням класифікується на активне і пасивне.

Активне керування обтіканням здійснюється або підводом в пограничний шар на спинці лопатки додаткової маси газу від сторонніх джерел, тобто підведенням енергії до потоку з іншої системи, або відсмоктуванням пограничного шару через проникливу поверхню лопатки (щілини, пориста поверхня).

При пасивному керуванні обтіканням дія на пограничний шар здійснюється перерозподілом енергії в потоці без внесення додаткової енергії з інших систем.

Більш простим з точки зору організації керування обтіканням є пасивне керування, оскільки при цьому непотрібно забезпечувати підведення додаткової енергії з інших систем.

Розглянемо решітку із щілинних лопаток, при використанні яких перерозподіл енергії в потоці відбувається через щілину в лопатці. Повітря в ядрі потоку таких решіток має перерозподілюватися так, що частина його, яка проходить через щілину, підмішується до основного потоку, маючи більшу швидкість у пограничному шарі. Це сприяє безвідривному обтіканню лопатки на великих кутах атаки.

Застосування таких лопаток може мати метою розширення діапазону стійкого обтікання або підвищення напорності ступенів осьового компресора при обмежених значеннях обертальної швидкості (частоти обертання ротора).

При проектуванні щілинних лопаток важливими питаннями є положення щілини на лопатці, а також геометрична форма щілини. Щілини можуть розташовуватися як ближче до передньої кромки, так і до середини хорди лопатки. В роботі [5] наведені результати експериментальних досліджень осьового вентилятора, лопатки якого мають передкрилки, подібні тим, що застосовуються на літаках, тобто щілина розташована біля передньої кромки лопатки. Експеримент підтвердив, що область стійкої роботи в цьому випадку збільшується на 27%, а ККД зростає на 10%. Візуалізація течії в пограничному шарі показала, що передкрилки попереджують відрив потоку на спинці лопатки. Потрібні геометричні параметри положення і форми щілини можуть бути знайдені експериментальними дослідженнями щілинних лопаток різних конфігурацій, але такий шлях довготривалий і дорогий. Тому, як правило, використовуються розрахункові методи. Наприклад, в роботах [1; 2; 3] викладені результати розрахункових досліджень щілинних лопаток методом дискретних вихорів. Метод дискретних вихорів має ряд припущень, які суттєво обмежують можливості розрахунку як за властивостями газу, так і за геометричними параметрами щілини.

Доцільніше було б застосовувати для розрахункових досліджень щілинних лопаток методи розрахунку, які враховують основні властивості газу (в'язкість, стисливість, теплопередачу) і в той же час допускають розрахунок будь-яких геометричних конфігурацій лопаток.

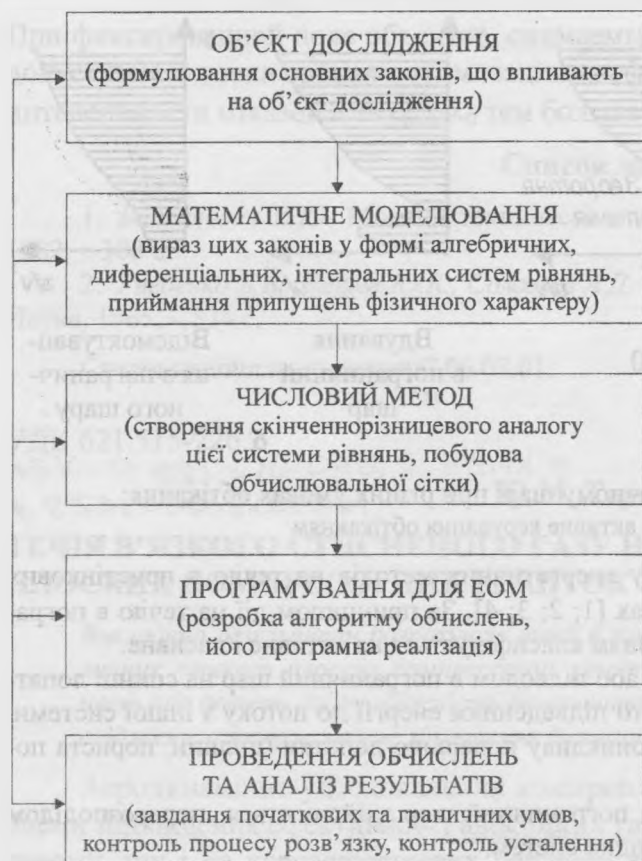


Рис. 2. Схема числового експерименту



Рис.3. Залежність кута повороту потоку від кута входу потоку для суцільних лопаток і для лопаток із щілиною:

□ — суцільна лопатка; Δ — щілинна лопатка

ного шару біля задньої кромки, що викликає зростання опору тиску і падіння підйомної сили. Найбільший ефект вдування в пограничний шар досягається при кутах входу потоку більш як 36° , але при збільшенні кута натікання потоку більше 43° не призводить до ламінаризації потоку.

Результати одержані в модельному експерименті зрівнювалися з даними експериментальних продувань, що наведені в роботі Фелікса і Емері [6], які провели порівняльні експерименти дослідження профілів С4 і НАСА-65. Були визначені втрати та кути відхилення потоку при низьких числах Маха ($M=0.6, 0.7, 0.8$) в залежності від кута атаки. На рис. 4 показано вплив кута атаки на величини кутів відхилення потоку для серії профілів, в тому числі С4 із середніми лініями у вигляді дуги кола і параболи, а також у вигляді дводугового профілю.

В достатній мірі цим вимогам відповідає метод кінцевих різниць, побудований на основі повної системи рівнянь Нав'є-Стокса. Для проведення числового експерименту створена скінченнорізницева система рівнянь, побудована розрахункова сітка, задані початкові та граничні умови, знайдений розв'язок рішення для кожного вузла сітки. Схема числового експерименту показана на рис. 2.

Для прикладу розглядаються результати розрахунків течії навколо дозвукової компресорної решітки (швидкість на вході в решітку $M=0.6$, щільність лопаток у решітки $\sigma=1.38$, кут установки лопаток у решітки $\gamma=70^\circ$).

Було проведено ряд розрахунків для суцільних лопаток (без щілини) і для лопаток із щілиною. Лопатка із щілиною має такі ж самі геометричні параметри, як і лопатка без щілини. За результатами розрахунків була побудована залежність кута повороту потоку від кута входу потоку для суцільних лопаток і для лопаток із щілиною (рис. 3).

При штучній ламінаризації пограничного шару за рахунок вдування газу на спинку (щілинні лопатки) діапазон стійкого обтікання лопаток збільшується майже вдвічі. Перерозподіл повітряного потоку між пристінними шарами на кориті і спинці щілинної лопатки призводить до зменшення градієнта тиску. Додаткова кінетична енергія, що вводиться в потік, збільшує перемішування в пограничному шарі і запобігає відриву потоку, але, якщо інтенсивність вдування надто велика, то може виникнути відривна зона в області вдування, збільшується товщина пограничного шару біля задньої кромки, що викликає зростання опору тиску і падіння підйомної сили.

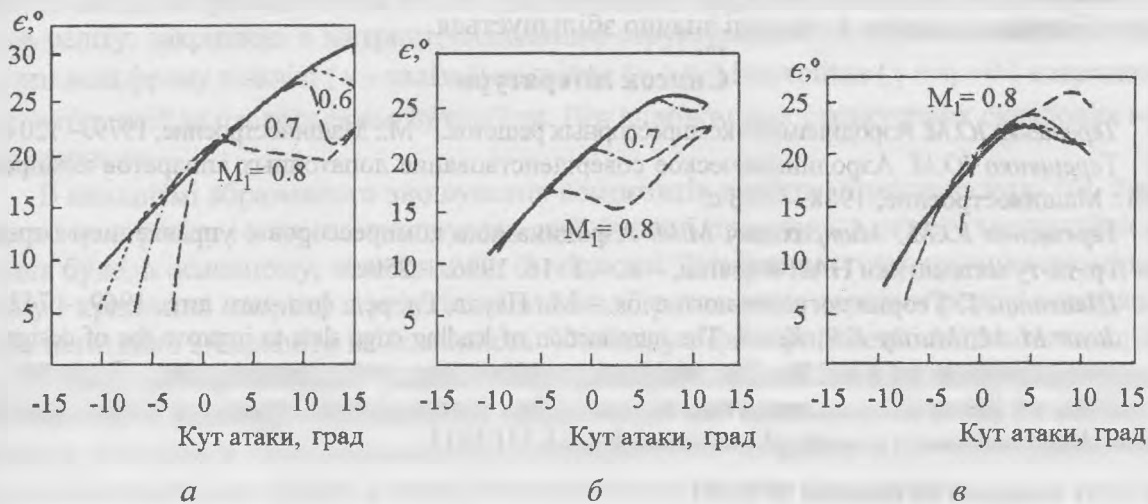


Рис. 4. Величини кутів відхилення потоку для профілю С-4 із середньою лінією у вигляді дуги кола (а), параболи (б) і для дводугового профілю (в) (кут входу потоку 55° , кут виходу потоку 30° , щільність 1,33)

Порівняння результатів розрахунку для суцільної лопатки з експериментальними даними дозволяє зробити висновок про те, що застосована методика розрахунку для моделювання потоку дозволяє отримати результати, які добре узгоджуються з експериментальними даними, що відповідають реальним профілям.

Розглянутий метод розрахунку дозволяє визначати кути повороту потоку в залежності від кута входу потоку в решітку, а також моделювати поле швидкостей. Локальний вдув призводить до того, що навколо вдуву формується просторова течія, яка визначається розподілом тиску, що індукується за рахунок зміни товщини пограничного шару.

Різниця характеру обтікання суцільних лопаток і лопаток із щілиною показана на рис. 5, звідки видно, що при тому самому куті натікання на спинці суцільної лопатки мають місце інтенсивні відриви потоку, які займають значну частину поверхні спинки лопатки (близько половини для кута натікання 36° і майже всю поверхню спинки лопатки для кута натікання 38°). Інша картина обтікання спостерігається для щілинних лопаток.

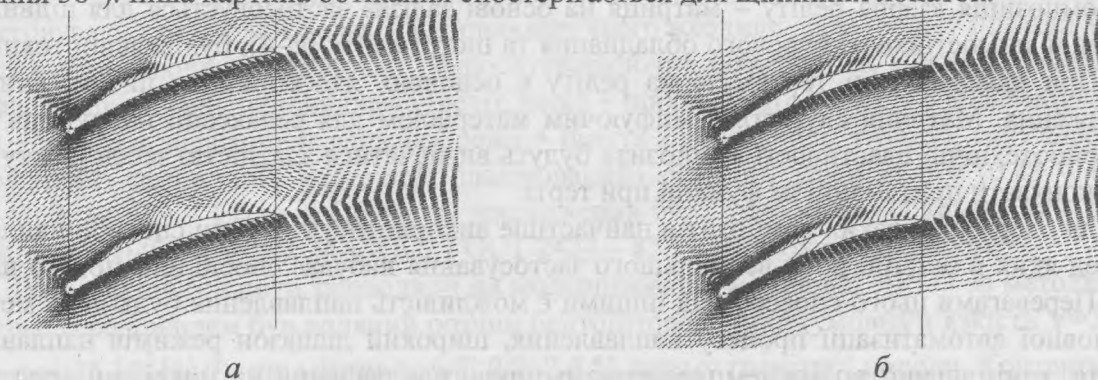


Рис. 5. Векторне поле швидкостей для компресорної решітки із суцільними (а) і щілинними лопатками (б) при куті входу потоку 38°

Визначення форми та місця розташування щілини на лопатці потребує спеціальної уваги. Але для визначення оптимальних геометричних параметрів щілини в лопатці доцільно використовувати методи розрахунку, які враховують основні властивості газу (в'язкість, стисливість, теплопередачу).

Отже, за рахунок вдування струму газу з корита лопатки в пограничний шар на спинці лопатки інтенсивність відривів значно зменшується. Напрямок вдування залежить тільки від

форми щілини і не залежить від кута натікання потоку на решітку (рис.5), тому діапазо стійкого обтікання лопаток в решітці значно збільшується.

Список літератури

1. *Терещенко Ю.М.* Аэродинамика компрессорных решеток. – М.: Машиностроение, 1979. – 120 с.
2. *Терещенко Ю.М.* Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров. – М.: Машиностроение, 1988. – 168 с.
3. *Терещенко Ю.М., Митрахович М.М.* Аэродинамика компрессоров с управлением отрывом потока// Тр. Ин-ту математики НАН України, – К. – Т. 16. 1996. – 250с.
4. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1969. – 742 с.
5. *Javur M. M., Murthy K.S., Kar S.* The introduction of leading edge slats to improve the of design performance of axial flow fans// Int. Conf. Fan Des. And Appl., Guildford, Sept., 1982. Cranfield, 1982. –P.281-295.
6. *Felix A., Emery J. C.* A comparison of typical Gas Turbine Establishment and NACA axial-flow compressor blade sections in cascade of low speed. NASA TN 3937.

Стаття надійшла до редакції 06.07.01.

УДК 621.891

ББК К 413.25 + К 644, 378

В.І. Дворук

ТРИБОТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Визначено оптимальний склад наповнювача стрічкового реліту регулюванням взаємодії зерен реліту з розплавом і технологічний режим плазмового наплавлення композитів.

Захист від абразивного зношування є актуальною проблемою, оскільки від 50 до 80 % випадків передчасного виходу з ладу різних машин, механізмів і обладнання пов'язано з абразивним зношуванням [1]. Як найбільш ефективний, а іноді єдино можливий метод вирішення цієї проблеми запропоновано створення композитів. Композити являють собою клас матеріалів, при утворенні яких зносостійка фаза у вигляді твердих частинок певного розміру, форми і концентрації готується заздалегідь, а матриця формується при кристалізації розплаву. Отже фазові співвідношення в композитах створюються штучно і тому можуть регулюватися, забезпечуючи у такий спосіб необхідні триботехнічні властивості.

Композиція «зерна реліту – матриця на основі заліза» застосовується для підвищення абразивної зносостійкості бурового обладнання та інструменту [2–4], будівельної техніки [5] тощо. При навантаженні тертям зерна реліту є основою, яка сприймає питомі контактні навантаження. Матриця служить демпфуючим матеріалом для релаксації напружень тертя. Тому триботехнічні властивості композита будуть визначатися здатністю зерен реліту і матриці виконувати притаманні їм функції при терті.

Для одержання таких композитів найчастіше використовують різні способи наплавлення, серед яких в останні роки все більшого застосування набуває спосіб плазмового наплавлення. Перевагами цього способу над іншими є можливість наплавлення будь-яких металів і сплавів, повної автоматизації процесу наплавлення, широкий діапазон режимів наплавлення, простота, мінімальний вплив температурного циклу наплавлення на механічні властивості основи тощо. Найбільш ефективним наплавним матеріалом для плазмового наплавлення є стрічковий реліт [3; 4; 6; 7], який являє собою порошкову стрічку з наповнювачем із зерен реліту і шихти. Вагомими технологічними перевагами цього матеріалу у порівнянні з іншими є краще змочування металу і більш низький температурний інтервал плавлення матриці.

Сутність одержання композиту способом плазмового наплавлення полягає в наведенні на поверхні основи зварювальної ванни розплавленням стрічкового реліту. В середині цієї ванни відбувається взаємодія розплаву із зернами реліту, результатом якої є частковий розчин зерен внаслідок дифузії вольфраму і вуглецю в рідку фазу. Геометричні розміри зерен реліту при цьому суттєво зменшуються, а в ряді випадків (при розмірі зерен 0,3 мм) вони