

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ДП «АНТОНОВ»

МАТЕРІАЛИ

**ХІ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
“АВІА-2013”**

21-23 травня

Том 3

КИЇВ 2013

ЗМІСТ

Секція 14. Енергетичне устаткування

<i>В.В. Панін, І.І. Гвоздецький, А.П. Вознюк</i> ВПЛИВ РАДІАЛЬНИХ ЗАГОРІВ НА ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ РОБОТИ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ АВІАЦІЙНОГО ТА НАЗЕМНОГО ЗАСТОСУВАННЯ.	14.1
<i>М.Ю. Богданов, Е.П. Ясиніцький, В.М. Охмакевич, Г.М. Нікітіна, М.І Кінашук</i> ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ПОГРАНИЧНИМ ШАРОМ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВТОРИННИХ ВТРАТ В ЛОПАТКОВИХ ВІНЦЯХ ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА	14.5
<i>К.В. Дорошенко, Ю.Ю. Терещенко</i> ТЕЧІЯ В КОМПРЕСОРНИХ РЕШІТКАХ ПРИ ВЕЛИКИХ ВІДСЬМНИХ КУТАХ АТАКИ	14.9
<i>Ф.И. Кирчу, Мохаммади Пейман</i> УПРАВЛЕНИЕ ОТРЫВНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ НА ПОВЕРХНОСТИ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР	14.14
<i>Н.С. Кулик, М.О. Ковешніков, Я. А. Петрук</i> МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕРМОЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ЖАРОМІЩНИХ АВІАЦІЙНИХ СПЛАВІВ І ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ	14.18
<i>М.С. Кулик, В.В. Козлов, П.І. Греков, К.І. Капітанчук, І.Е. Ясиніцька</i> ТЕОРЕТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЗВУКОВИХ ГАЗОВИХ ЕЖЕКТОРІВ З ПОВОРОМ ПОТОКУ АКТИВНОГО ГАЗУ	14.26
<i>І.О. Ластівка</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ПРИМЕЖОВИМ ШАРОМ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ АЕРОДИНАМІЧНИХ СЛІДІВ ЗА ЛОПАТКОВИМИ ВІНЦЯМИ СТУПЕНЯ ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА	14.30
<i>О.С. Якушенко, В.С. Мільцов, В.М. Охмакевич, О.І. Чумак, О.С. Машинін</i> ПІДХОДИ ДО МОНІТОРИНГУ НАДІЙНОСТІ НА РІВНІ АВІАКОМПАНІЇ	14.34
<i>М.М. Мітрахович, Н.В. Корчомний</i> МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ДВОЯРУСНОЇ РОБОЧОЇ ЛОПАТКИ ТРИКОНТУРНОГО ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГУНА	14.40

*М.С. Кулик, д.т.н., В.В. Козлов, к.т.н., П.І. Греков, к.т.н.,
К.І.Капітанчук, к.т.н., І.Е. Ясиніцька
(Національний авіаційний університет, Україна)*

ТЕОРЕТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЗВУКОВИХ ГАЗОВИХ ЕЖЕКТОРІВ З ПОВОРОМ ПОТОКУ АКТИВНОГО ГАЗУ

*В статті розглянуті методи дослідження дозвукових газових ежекторів.
Проведений короткий аналіз можливості їх застосування при дослідження
різних конструктивних схем газових ежекторів. Надані результати
теоретичних досліджень дозвукових газових ежекторів.*

Застосування ежекторних реактивних сопел (вихідних пристроїв) різного призначення створює додаткові проблеми, що відносяться до питань оптимального аеродинамічного проектування з метою підвищення ефективності їхнього застосування при мінімальних втратах енергії та зменшенні вартості їхнього життєвого циклу. Камера змішання газового ежектора може мати циліндричну чи перемінну по довжині площу перетину. Форма камери впливає на змішання газів. Камера змішування може також мати і інші геометричні форми, наприклад, з переходом із циліндричної в плоску (рис. 1) і інш. Сопло активного газу може бути осьовим або з поворотом потоку. Існуючі методи розрахунку ежектора складені в основному для циліндричної камери змішування. Процес змішання та вирівнювання швидкостей потоків по довжині камери змішання супроводжується втратами. Крім гідравлічних втрат у всіх елементах дозвукового газового ежектора мають місце специфічні втрати, пов'язані із самою суттю процесу змішання.



Рис. 1. Експериментальна камера змішування

Такими втратами є втрати кінетичної енергії й дифузії. Зниження втрат в елементах дозвукового газового ежектора є джерелом істотного підвищення ефективності сопел вихідних пристроїв сучасних ЛА з системами відхилення вектора тяги, реверса та збільшення тяги, системами зниження рівня шуму, інфрачервоного випромінювання, системами вентиляції підкапотного простору і т.д. Для стаціонарних ГТД зниження втрат в елементах дозвукового газового ежектора дозволяє ефективно застосовувати газові ежектори для вентиляції контейнера ГТД[1].

При виборі конструктивних параметрів газового ежектора і його розрахунку користуються узагальненими характеристиками. Це обумовлено тим, що один і той же ежектор може працювати на різних режимах і при різних співвідношеннях початкових параметрів газу. Узагальнені характеристики можна отримати на основі як теоретичних, так і

експериментальних даних. Одним із методів отримання теоретичних характеристик дозвукового газового ежектора є метод розрахунку по кінцевим перетинам. Задача розрахунку полягає в тому, щоб по заданих параметрах потоку в вхідному перетині камери змішування визначити коефіцієнт швидкості, повний тиск суміші газів та температуру гальмування у вихідному перетині камери на основі рішення рівнянь збереження маси, енергії, імпульсу потоку та рівняння стану [2]. Розглянутий підхід до узгодження режимів течії через перший і другий контур ежектора при його розрахунку представлений у роботах [2,3] не встановлює однозначної залежності між параметрами активного та пасивного газів.

Неоднозначність визначення статичного тиску на вході в камеру змішування для звукових та надзвукових течій активного газу також відмічено в роботах Дейча М.Є. [4]. Однак, якщо проблему розглядати з точки зору, що втрати енергії ΔE еквівалентні витраті енергії активного газу на зміну кінетичної енергії низьконапірного газу, то втрати енергії активного газу відбуваються за рахунок зменшення статичного тиску на вході в камеру змішування. В усіх перетинах змішувальної камери кінцевої довжини - у тому числі і у вихідному перетині - існує нерівномірність у розподілі параметрів газового потоку. Тому розрахунок ежектора по кінцевих перетинах, у яких потоки вважаються однорідними, у багатьох випадках є недостатнім. Найбільш неаргументованим припущенням є введення в модель ідеальної камери змішування про повне змішування. Камера змішування ЕВП має довжину порядку його діаметра. Тому профіль швидкості в вихідному перерізі камери змішування істотно неоднорідний. Зазначене обмеження довжини камери змішування призводить до зменшення приросту тиску потоку в ежекторі. Більш того, неоднорідність потоку через неповне змішування знижує ефективність дифузора і приріст тиску в ньому. У цілому характеристика ежектора проходить крутіше, ніж в ідеальному випадку. Підмішування холодного повітря відбувається менш інтенсивно.

Одним з додатків теорії вільної струї є розрахунок процесу змішування потоків в камері змішування ежектора. Застосування інтегрального методу розрахунку дозволяє провести розрахунок профілю швидкості по довжині камери змішування [2]. На відміну від наближеної моделі ідеального змішувача інтегральний метод може бути застосований лише до осесиметричних ежекторів. Оскільки пелюсткові сопла значно покращують характеристики коротких ежекторів, бажано вміти розраховувати ефект підвищення ежекції без допомоги громіздких і вимагаючих багато часу на розрахунки тривимірних програм. Фактично сопло з довільною формою поперечного перерізу має осесиметричний еквівалент тієї ж площі, вони відрізняються один від одного тільки периметром. Однак, інтегральні методи також мають проблему з визначенням статичного тиску на вході в камеру змішування та, особливо, розрахунку течії з поворотом потоку активного газу. Іншою проблемою при розрахунку дозвукових ежекторів по кінцевим перетинам та інтегральними методами є розходження результатів теоретичних та експериментальних досліджень при великих коефіцієнтах ежекції [5]. При великих коефіцієнтах

ежекції струмись активнього газу витікає в практично безграничний простір і відбувається виродження ежектора.

Серед різних підходів, застосовуваних до вирішення цієї проблеми, важливе місце займає математичне моделювання на основі рівнянь Нав'є-Стокса. В даний час його роль зростає з розвитком ЕОМ, вдосконаленням використовуваних моделей і чисельних методів, а також у зв'язку з можливістю замінити розрахунком дорогий, а в ряді випадків практично неможливий фізичний експеримент. Основні підходи до інтегрування рівнянь Нав'є-Стокса пов'язані з побудовою методики розрахунку тиску. Є методи для нестисливої рідини без розрахунку тиску, коли функція тиску виключається введенням функції току, що усуває проблеми, пов'язані з розрахунком тисків, але приводить до інших проблем, пов'язаних з побудовою граничних умов для функції вихора.

При моделюванні дозвукових течій зі зменшенням числа Маху до нуля кінцево-різницевої схеми істотно втрачають стійкість. Для підвищення стійкості тут можна використовувати згладжування осциляцій без зниження порядку апроксимації, а також вводити штучну дифузію в областях з великими градієнтами для забезпечення додаткового згладжування чисельного рішення.

Однак, наявність поворотів потоку, відривних та зворотних течій, парних вихорів призводить до значних розбіжностей розрахунку та експерименту та в більшості випадків до неможливості проведення розрахунку кінцево-різницевим методом. Розрахунок таких складних течій потребує детальних досліджень в напрямку визначення придатності тих чи інших кінцево-різницевих методів які б враховували: наявність зон відриву і зворотних струмів; зміну тиску в поперечному напрямку; наявність збурень вверх по потоку; тертя на стінках.

Для замикання системи рівнянь, що описує турбулентну течію, використовуються моделі турбулентної в'язкості. Вибір моделі турбулентності для розрахунку відривних течій становить окрему проблему. Незважаючи на суттєвий прогрес у моделюванні турбулентності великими (LES) і від'єднаними (DES) вихорами, прямим чисельним моделюванням (DNS), при вирішенні практичних завдань широко використовуються тільки моделі на основі осереднених по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса (RANS). Однопараметрична модель турбулентності Spalart-Allmaras (SA) розроблена в 1992 році і призначена для опусу рівноважних течій типу пограничного шару для задач зовнішнього обтікання. У методах, що використовують природні змінні, для розрахунку тиску звичайно використовується комбінація рівняння нерозривності і кількості руху. У таких алгоритмах як SIMPLE [6], SIMPLEC [7], PISO [8] і в методі штучної стисливості, фактично ставиться еволюційна задача для тиску, при цьому відкидаються додатки, які забезпечують прямий зв'язок між масовими силами і полем тиску. На сьогоднішній день найбільш популярним серед фахівців з обчислювальної газодинаміки є сімейство SIMPLE алгоритмів.

Реальна геометрія промислових установок і пристроїв яким є і газовий ежектор ЕВП, вимагає, по-перше, можливості застосування адаптивних сіток, а по-друге, незалежності властивостей розрахункового методу від обраної

системи координат. З цієї точки зору найбільшу гнучкість має метод кінцевих елементів. Не дивлячись на останні досягнення в області підвищення точності апроксимації в методі кінцевих елементів, кінцево-різницеві алгоритми, засновані на методі контрольного об'єму, перевершують метод кінцевих елементів по ефективності і точності. У кінцево-різницевих алгоритмах простіше реалізуються можливості підвищення точності результатів розрахунків за рахунок застосування TVD схем високого порядку.

Однак, практично немає робіт, у яких були б чітко показано переваги схем типу TVD в порівнянні з іншими схемами для задач нестисливої рідини. У цьому ключі також постає завдання розробки методології порівняння різних різницевих алгоритмів [9]. Розрахунку течії газу в каналах різної форми присвячена значна кількість робіт виконаних в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного та Дніпропетровському національному університеті ім. Олеса Гончара.

Висновки

Всі вказані явища та фактори, що мають місце в складних технічних пристроях, одним із яких є дозвуковий газовий ежектор з поворотом потоку активного газу різного виконання, практично в більшості випадків потребують експериментальних досліджень щодо можливості використання тих чи інших кінцево-різницевих методів розрахунку дозвукової течії в каналах складної форми та моделей турбулентної в'язкості.

Список літератури

1. Греков П.І., Волянська Л.Г., Алтаов В.Є., Капітанчук К.І. Підвищення ефективності вентиляційних установок ежекторного типу. Промислова гідравліка і пневматика, 2005. – №4(10), 5с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. — М.: Наука, 1969.
3. Аркадов Ю.К. Новые газовые эжекторы и эжекционные процессы. — М.: Физматлит, 2001. — 334 с.
4. Дейч М.Е., Поликовский В.Г. Ступень эжектора. - В кн.: М.Н. Дейча. Техническая газодинамика. - М.: Госэнергоиздат, 1961. - С. 283.
5. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович / Репринтовое воспроизведение издания 1960 г. — М.: ЭКОЛИТ, 2011. — 720 с.
6. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Патанкар. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 152с.
7. VanDoornaal J.P., Raithby G.D. Enhancements of SIMPLE method for predicting incompressible fluid flow // Numer. Heat Transfer. -1984. -Vol.7. -№2. -P.147-163.
8. Бенюдекар Р.В., Годдард А.Дж.Г., Госман А.Д., Исса Р.И. Численный расчет обтекания выступов на плоскости // Аэрокосмическая Техника. -1986. -Т.4, №2. С.125-134.
9. Приходько А.А., Зинченко А.В., Кудинов П.И. Пакет программ для моделирования тепломассообменных процессов в многофазных средах // Придніпровський науковий вісник. -Дніпропетровськ: 1996. -№9. - С.13. 84.