

Д.Ю. РАШЕВСЬКИЙ, В.П. СУБОТОВИЧ, докт. техн. наук, професор

Розрахунок течії у міжлопаткових каналах соплових та робочих решіток турбін

Найважливіші для проектування профілів лопаток характеристики реального потоку – розподіл швидкості по обводах профілів, розподіл кута виходу потоку з вінців – з достатнім ступенем точності може розраховуватися в припущенні стаціонарності і «нев'язкості» потоку, тобто з використанням рівнянь Ейлера (двомірне – 2D, квазітривимірне – Q3D і тривимірне – 3D моделювання невязкого потоку). У моделі з використанням рівнянь Ейлера можуть бути штучно введені втрати енергії для моделювання «ефектів» в'язкості, тобто наближення до характеристик реального потоку.

Моделювання з використанням рівнянь Нав'є-Стокса (2D та 3D моделювання в'язкого потоку) дозволяє одержати такі важливі кількісні характеристики потоку, як рівень втрат енергії в плоских решітках або просторовому вінці, а також ідентифікувати відривні явища в проточній частині.

Аеродинамічний розрахунок лопаток турбін заснований на застосуванні методів розв'язування двох задач теорії решіток – прямої та оберненої. Обернена задача полягає в побудові вінця (або решіток профілів у 2D постановці) лопаток, що реалізує задані характеристики течії в міжлопатковому каналі. При такому підході особливу важливість має детальне дослідження впливу закону розподілу швидкостей в ядрі потоку на аеродинамічні характеристики лопаткового вінця, який проектується.

В даний час в практиці вітчизняного турбінобудування не існує методів розв'язування оберненої задачі в 3D постановці. Це пояснюється, перш за все, відсутністю математичної моделі, що достатньо повно відображає фізичну картину течії в просторових вінцях лопаток. Очевидно, що при моделюванні цього процесу разом з розв'язуванням задачі визначення характеристик течії в ядрі потоку необхідно розглядати і проблему в'язкої-нев'язкої взаємодії, включаючи розрахунок вторинних течій, які мають місце в лопаткових вінцях. Крім того, слід зазначити, що надзвичайно складним представляється питання формування навіть якісного уявлення про вплив просторового поля течії на аеродинамічну якість вінців лопаток, які проектуються. Одним з найістотніших моментів є необхідність виконання умови мінімуму аеродинамічних втрат, крім того, до лопатки є вимоги, пов'язані з умовами міцності і особливостями технологічного процесу її виготовлення. В результаті форма лопатки, яка може бути одержана шляхом розв'язування оберненої задачі, потребує корекції, що приводить до спотворення поля течії, яке задається при проектуванні. Таким чином, в даний час розв'язування оберненої задачі в 3D постановці, результати якого могли б

безпосередньо використовуватися в практиці проектування, представляється нереальним.

Найсучасніші методи оберненого проектування лопаткових решіток, точно кажучи, не є методами розв'язування оберненої задачі розрахунку просторової течії, а засновані на ітераційному розв'язуванні прямої задачі. Щоб розв'язати обернену задачу таким шляхом (визначити зміни геометрії) необхідно виконати велику кількість ітерацій, перш ніж мета буде досягнута. На сьогоднішній день немає практичної можливості використовувати такі методи оберненого проектування в процесах оптимізаційного пошуку. Створенню таких методів повинні передувати детальні експериментальні і теоретичні дослідження впливу просторової форми лопатки турбіни на її основні характеристики.

При проектуванні і дослідженні вінців лопаток найбільше поширення набули методи розв'язування прямої задачі, яка полягає у визначенні поля течії в міжлопаткових каналах, утворених лопатками заданої форми. При цьому основна увага надається розробці ефективних методів чисельного визначення характеристик потоку робочого тіла як в ядрі течії, так і в примежовому шарі. В більшості випадків результати розрахунків дають можливість провести порівняльний якісний аналіз варіантів лопатки, що проектується, і оцінити їх характеристики. Очевидно, що пряма задача істотно простіше, ніж обернена, оскільки в цьому випадку розглядається конкретний варіант лопатки, а тому всі додаткові вимоги до її форми вже враховані при проектуванні.

Розрахунок в'язкої течії за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса у принципі дозволяє вирішити всі основні проблеми проектування (оцінювати розподіл швидкостей і рівень втрат у вінцях лопаток), а також визначати зони відриву потоку в проточній частині турбіни. Проте, використання моделей Нав'є-Стокса як робочого інструменту проектування зустрічає низку труднощів, а саме:

1. Достатньо тривалий час розрахунку. Проблема оперативності найбільш серйозна для моделювання 3D течії у вінці. Час має велике значення в практичному проектуванні.

2. Точність розрахунку не може бути гарантована для всіх окремих випадків. Тільки моделі турбулентності, необхідних для замикання усереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса, відомо понад десяток. Поки немає підстав чекати появи єдиної моделі турбулентності, що дозволяє однаково надійно проводити розрахунки у всьому діапазоні робочих умов.

3. Надійність отримання результату недостатньо висока. Проблема стійкості розрахунку іноді вимушує використовувати не ту схему розв'язування, яка дає якнайкращі результати при порівнянні з експериментом, а ту, що дозволяє одержати хоч якийсь результат.

Та найважливіша проблема полягає в настройці параметрів сітки, виборі схеми розрахунку і моделі турбулентності, які забезпечують якнайкраще узгодження з наявним експериментом. При цьому експеримент повинен бути проведений для лопаткових вінців, схожих за своїми параметрами, в необхідному для конкретної задачі діапазоні робочих умов.