

МЕТОДОЛОГІЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ

Д.т.н. О. С. Савельєва, Д. О. Малахова

Одеський національний політехнічний університет

Україна, Одеса

diana.dizzy.ds@gmail.com

Розглянуті основні методи візуалізації гідродинамічних потоків. Наведено аналіз можливостей, що надаються при використанні порівняння експериментальних зображень потоків, отриманих різними оптичними методами, з чисельної візуалізацією гідродинамічних потоків. Відзначається, що всі існуючі методи володіють одним загальним недоліком - малою інформативністю для проектувальників гідравлічного обладнання.

Ключові слова: візуалізація, гідродинамічні потоки, оптичні методи.

Методи візуалізації потоків використовуються для досліджень, аналізу, обробки, відображення якісних і кількісних даних о потоках у механіці: в газах (газо-аеродинаміка, теплотехніка), рідинах (гідродинаміка, теплофізика, моніторинг гідросфери), багатофазних середовищах (гідравліка, нафтогазова сфера, горіння). Практично всі методи експериментальної візуалізації потоків спираються на відомі фізичні явища.

Основна мета візуалізації потоків - опис і демонстрація нових явищ і закономірностей в потоці. На практиці застосовуються дві основні групи методів візуалізації: оптичний і неоптичний. Безпосереднє спостереження структури течії неозброєним оком, як правило, не представляється можливим. Так, наприклад, присутність тіла в потоці постійно змінює його основні характеристики (лінії струму, завихреність і т.п.).

Оптичні методи візуалізації засновані на зміні коефіцієнта заломлення повітря, який слабо залежить від його масової щільності. Вони широко поширені при дослідженні високошвидкісних потоків, коли на структуру течії суттєво впливає стисливість середовища. При цьому в експерименті використовується складне і дороге устаткування: прямокутні і шлірентінові прилади, інтерферометри і т.д.

Неоптичні методи засновані на введенні в потік різних візуалізуючих частинок: пилу, диму, ниток, масляних крапель і т.п. За характером їх руху роблять висновки про структуру потоку.

Недоліком неоптичних методів є необхідність вводити в потік домішки, що змінюють фізичні властивості самого потоку. Крім того, внесені в потік, наприклад, важкі і великі частки пилу або довгі і важкі нитки не будуть строго відслідковувати траєкторії струмків газу.

Для обробки і аналізу отриманих зображень потоків використовується комп'ютерна техніка, спеціалізоване програмне забезпечення. Зазвичай ставляться такі базові завдання: зменшення шуму вихідного зображення, виділення елементів структури досліджуваних об'єктів, збереження отриманих результатів у зручному для подальшої роботи та подання вигляді. В останнє десятиліття в зв'язку з бурхливим розвитком цифрових технологій візуалізація процесів в динамічних системах стала значно доступнішою.

Візуалізація даних чисельних розрахунків потоків - наочне уявлення великих масивів чисельної інформації, яке реалізується завдяки використанню елементів комп'ютерної графіки. Характерна особливість в розвитку наукових досліджень гідродинамічних потоків є зближення техніки візуалізації чисельних і експериментальних зображень потоків. Таке зближення є результатом цифрової революції, тобто переходу від аналогових механічних та електронних технологій до цифрових технологій в тому числі - в методах реєстрації зображень полів течій і представлення результатів досліджень. Верифікація моделей і алгоритмів чисельних розрахунків проводиться на основі даних експериментальної візуалізації потоків. З іншого боку, результати експерименту розшифровуються і уточнюються на основі даних чисельного аналізу.

Можливості надання результатів в чисельному моделюванні постійно якісно розширюються у зв'язку з розвитком обчислювальної бази, появою суперкомп'ютерів, технологій паралельних обчислень. Потужності комп'ютерів дозволяють збільшувати число розрахункових осередків при розрахунках течій на основі рівнянь гідродинаміки, з урахуванням фізичних властивостей середовища, досліджувати тонку структуру потоків рідини, газу, плазми, багатофазних середовищ.

На цей час у зв'язку з впровадженням цифрових технологій в методи реєстрації та аналізу потоків і способів подання результатів чисельного моделювання стає можливим проводити синхронне порівняння результатів розрахунків з експериментальною візуалізацією полів течій.

Методи експериментальної візуалізації потоків спираються на фізичні явища, пов'язані з поширенням електромагнітних хвиль в середовищах (процеси випромінювання, розсіювання, поглинання, відображення, рефракції, інтерференції, перевипромінювання (люминесценції) і ін. Експериментальні зображення можуть бути отримані безпосередньо з різних типів цифрових камер, що реєструють це випромінювання. Сучасні камери з цифровими матрицями базуються на двох основних технологіях: CCD (charge-coupled device- (ПЗС - прилад із зворотного зарядної зв'язком) і CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor, комплементарная логіка на транзисторах метал-оксид-напівпровідник, КМОП). Камери знімають у видимому, рентгенівському й інфрачервоному діапазонах спектру електромагнітних хвиль. Окремі моделі дозволяють реєструвати швидкопротікаючі процеси з наносекундною експозицією, в багатокадровому режимі з частотою кадрів понад мільйон кадрів у секунду, з просторовим дозволом, достатнім для розпізнавання тонкої структури течії (понад 1000x1000 пікселів). Такі параметри цифрових камер оптичного діапазону були досягнуті в останні роки і дозволили пережити можливість кращих оптико-механічних камер.

Зображення потоків при гідродинамічних експериментальних дослідженнях зазвичай реєструються у вигляді, вже готовому для порівняння та аналізу з розрахунком. Деякі методи передбачають додаткову комп'ютерну цифрову обробку з підключенням знань про особливості течій і фізичних принципів їх реєстрації. Зокрема, група методів PIV і кількісні тінюві методи передбачають обробку на основі кроскореляційних методів.

Слід зазначити, що у зв'язку з впровадженням цифрових технологій у експериментальній гідродинаміці виникла нова серйозна проблема - проблема надлишку інформації. Перегляд, обробка, аналіз, осмислення, використання отриманих масивів даних (зокрема, фільмів, що містять найчастіше гігабайти інформації) вимагає особливого уміння виділяти головне, зосереджуватися на обмежених напрямках досліджень, виявляти та відокремлювати непотрібну інформацію.

Не зважаючи на переваги всіх сучасних методів візуалізації, таких як: тінюві методи, інтерферометрія, PIV, LIF, ЛДА, термографія, тінювий фоновий метод, бароіндикаторні покриття та ін., вони володіють одним загальним недоліком - малою інформативністю для проєктувальників гідравлічного обладнання. Так, наприклад, до дотепер відсутній чіткий алгоритм побудови полів течій у вигляді ізоліній, оскільки у численних розрахунках неможливо виділити повністю однакові значення швидкості або тиску потоку у різних розрахункових вузлах.

З цієї причини у ході досліджень було сформульовано новий підхід до візуалізації даних гідродинамічних розрахунків. Він базується на використанні нового методу, у основі якого лежить використання не векторних, а градієнтних характеристик поля течії, що розраховується. В цьому випадку під час візуалізації нестационарних характеристик потоку його такі особливі зони, як вихрові згустки, зони відриву, локальні скачки турбулентності і т.і. будуть відображатися у повній мірі і з найбільшою інформативністю.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Бондарев А.Е., Галактионов В.А., Четкин В.М. // Научная визуализация в задачах вычислительной механики жидкости и газа. - Научная визуализация. - 2010. - № 4. - С. 1-26.
2. Znamenskaya I.A., Kuli-zade T.A., Kulikov V.N., Perminov S.P. Transonic // 3D Non-stationary Flow Visualization Using Pulse Transversal Discharge. Journal of Flow Visualization and Image Processing, Begell House (United States), V 18, № 3, P. 215-224.

Saveleva O., Malakhova D.

Methodology visualization of hydrodynamic flow

There were considered main imaging techniques for hydrodynamic flows. The analysis of opportunities that are granted in comparison of experimental flow images obtained by different optical methods with numerical flow visualization was done. It was depicted that all the existing methods have one common drawback - small informative for designers hydraulic equipment.

Keywords: visualization, hydrodynamic flow, optical methods.