

В.Т. Мовчан, Є.О. Шквар (Національний авіаційний університет, Київ, Україна)

Математичні моделі і методи розрахунку турбулентних зсувних течій

Турбулентність є однією з фундаментальних наукових проблем, яка навіть і сьогодні далека до повного розуміння її фізичних аспектів та отримання точних загальних розв'язків. Задачі практики вимагають наявності розв'язків для різноманітних течій, де турбулентність є одним із основних чинників. Тому найбільше розповсюдження при моделюванні турбулентного руху набули гіпотетичні математичні моделі, що спираються на результати чисельних експериментальних досліджень, теорію розмірності та подібності, а також, значною мірою, і на інтуїцію.

У роботі наведені розроблені авторами математичні моделі різнорівневих наближень турбулентної в'язкості: алгебраїчні, одно- та двохпараметричні диференціальні та їх комбіновані варіанти. Ці моделі описують обумовлені турбулентністю додаткові дисипативні процеси в межах більш загальних моделей турбулентного руху в'язкої рідини, які ґрунтуються на системі диференціальних рівнянь Рейнольдса і втілюють фундаментальні закони збереження для складових осередненої течії та кореляційних моментів пульсаційного руху. Виконано аналіз меж використання різних підходів та їх адаптованості до різноманітних класів турбулентних течій. Розроблені числові методи та побудовані наближено-аналітичні розв'язки, що втілюють запропоновані моделі. На цій основі проведені обчислювальні експерименти, що дозволили уточнити моделі і розв'язки. Наведено результати числового моделювання наступних класів турбулентних течій: примежові шари, що формуються під впливом сприятливого чи несприятливого градієнту тиску, пристінні струмені, течії в примежовому шарі, модифіковані впливом ряду керуючих ефектів, таких як наявність руйнівників великих вихорів, інжекція полімерних домішків та регулярне профілювання обтічної поверхні. Особливу увагу приділено відтворенню наступних суттєвих особливостей формування пристінних течій: настання відриву, зменшення тертя під впливом засобів керування, а також сумісна взаємодія різних впливів. Для дослідження можливостей відтворення вихрової структури турбулентної течії в областях складної геометрії, яка б моделювала подібні до поздовжніх канавок (ріблет) елементи мікрорельєфу обтічної поверхні, а також області з'єднання різних аеродинамічних поверхонь побудовано кілька модифікацій методу розрахунку пристінних просторових як внутрішніх, так і зовнішніх турбулентних течій, що використовують або істотні змінні та процедуру SIMPLE, або перетворені змінні (вихор-компоненти швидкості) разом із кількома модифікаціями диференціальних моделей турбулентності. Крім того, з метою здійснення детальнішого аналізу динаміки багатомасштабної структури турбулентних обмінних процесів було розроблено метод моделювання крупних вихорів (LES), в якому при моделюванні турбулентності підсіткових масштабів був ефективно використаний доробок авторів по напівемпіричному моделюванню в межах традиційних підходів рейнольдсового осереднення. Такий підхід дав змогу ефективно описати вплив ряду керуючих факторів, а саме полімерних домішків і руйнівників великих вихорів. Враховуючи на ресурсомісткість даного напрямку моделювання, значна увага приділялася використанню ефективних розрахункових алгоритмів, зокрема орієнтованих на комп'ютери багатопроцесорної розгалуженої архітектури. Розроблені алгоритми, що істотно суміщають переваги багатопоточного та розподіленого стилів програмування.

Представлені результати дозволяють стверджувати про адекватне відтворення характеристик турбулентних течій, що розглядалися, запропонованими моделями та відповідними методами. Порівняння даних розрахунків зі значним обсягом експериментального матеріалу та теоретичними результатами ряду авторів є несуперечливим, а у ряді випадків демонструє переваги запропонованих математичних моделей та методів по відношенню до розрахункових результатів інших дослідників.
