

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТУРБУЛЕНТНИХ ТЕЧІЙ З ЗАСОБАМИ УПРАВЛІННЯ ПРИСТІННОЮ ТУРБУЛЕНТНІСТЮ

О. Ю. Стреляєв¹, Є. О. Шквар^{1,2}

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

²Національний авіаційний університет

Анотація

Представлені результати узагальнення та систематизації сучасних напрацювань в галузі управління пристінними турбулентними течіями та проведено аналіз існуючих і перспективних підходів до побудови математичних моделей модифікованого засобами управління турбулентного пристінного руху. Здійснено дослідження ефективності управління турбулентними пристінними течіями шляхом неоднорідних впливів в околі обтічної поверхні

Ключові слова: турбулентна течія, примежовий шар

Вступ

Енергозбереження – одна з найважливіших проблем без державних та часових кордонів, що у теперішній час турбує людство особливо гостро. Її прямим наслідком є як необхідність розробки альтернативних джерел енергії, так і актуальність вирішення проблеми підвищення ефективності існуючих енергетичних установок та пристроїв, що використовують енергію і, зокрема, швидкісних транспортних засобів. Задача оптимізації форми обтічних поверхонь в транспорті або в енергетиці інтенсивно вирішується людством вже більше століття і на сучасному етапі розвитку техніки подальше покращення параметрів промислових установок та транспортних засобів цим шляхом вже не вважається ефективним [1]. Даний факт дає початок цілому напрямку оптимізаційної діяльності, пов'язаному з цілеспрямованим впливом на структурні особливості розвитку течії в конкретних умовах і, зокрема, на формування турбулентності та її подальшу еволюцію.

1. Методи управління структурою пристінних турбулентних течій

Сучасні енергетичні установки використовують переважно рідкий або газоподібний теплоносій, що дозволяє підвищувати їх ефективність, виходячи із загальних принципів механіки рідин і газів. Основними задачами якої є: 1) зменшення опору тертя, обумовленого в'язкими властивостями рухомої рідини та втратою її стійкості в тонкій області течії, що безпосередньо межує з обтічною поверхнею – примежовому шарі 2) запобігання відриву примежового шару від обтічної поверхні; 3) інтенсифікація або гальмування теплообміну між течією та обтічною поверхнею і 4) формування течії з заданими властивостями. Саме на розв'язання цих задач і спрямована дія більшості методів управління потоком, які за енергетичними потребами поділяють на активні та пасивні.

Перші потребують додаткового джерела енергії для свого функціонування. Останні ж перерозподіляють енергію самої течії шляхом модифікації структури турбулентного потоку, завдяки чому додаткової енергії не потребують. До найбільш поширених активних

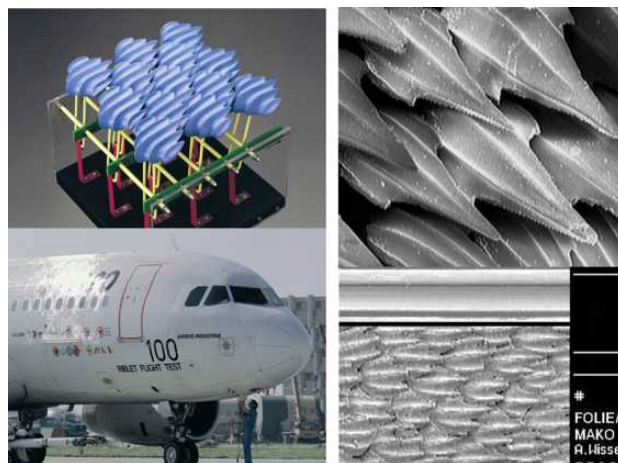


Рис. 1. Природні засоби впорядкування обтікання живих істот – рифлені поверхні (ріблети)

методів управління пристінними течіями відносяться: відсмоктування або видув примежового шару через обтічну поверхню, дотичний видув струменя в безпосередній близькості від поверхні, а також нагрівання або охолодження поверхні. Серед пасивних методів виділяють: формування рельєфу обтічної поверхні у вигляді мікроборозенок вздовж напрямку обтікання, тобто ріблет (рис. 1); встановлення в примежовому шарі, на деякій відстані від поверхні, тонких пластин, призначених для руйнування властивих турбулентному руху великомасштабних вихроутворень, відомих за усталеною англійською назвою – Large Eddy BreakUp devices (LEBU); додавання до течії малих концентрацій розчинів домішок високомолекулярних полімерів або збагачення водно-

го примежового шару мікробульбашками. В окрему групу виділяють пасивні методи управління, при яких обтічна поверхня є чутливою до характеристик пульсаційного руху турбулентної течії. Цього ефекту можна досягти шляхом використання поверхонь з еластичним покриттям, яке завдяки своїм податним властивостям поглинає енергію турбулентних збурень. Інший метод досягає бажаного ефекту впливу на течію за допомогою утворення вимушених мікроколивань поверхні з параметрами, адаптованими до пульсаційних властивостей турбулентної течії завдяки застосуванню чутливих до властивостей турбулентного руху мікро-електромеханічних систем (МЕМС). Альтернативою останньому підходу є активний метод акустичного впливу на турбулентну течію, в результаті якого інтенсифікується перенос кількості руху, зменшується координата точки переходу ламінарної течії в турбулентну. Зауважимо, що деякі з описаних вище пасивних методів все ж потребують додаткових витрат енергії, але вони є значно меншими у порівнянні з енергетичними затратами активних методів.

Основною особливістю активних методів є значно більша варіативність та гнучкість можливостей їх застосування, у той самий час роль і місце добре оптимізованих під конкретні умови використання і вдало застосованих пасивних методів важко переоцінити, але життєві реалії сучасного стану впровадження як активних, так і пасивних методів, особливо щодо зменшення тертя свідчать більше про існування значного інтересу до їх розвитку та втілення, ніж про конкретні працюючі реалізації. Це свідчить одночасно про як беззаперечну актуальність, так і значну складність процесу доведення технологій управління структурою турбулентних течій до рівня їх практичних реалізацій [2].

2. Методика дослідження

Проведення досліджень авторів у цьому напрямку базується на методології обчислювальної гідродинаміки, яка передбачає використання формалізованих представлень фізичних законів та взаємозв'язків, математичних та, зокрема, числових методів для розрахунку параметрів течії, а також дозволяє з заданою наперед точністю вивчати доволі складні ефекти турбулентного обтікання за умови наявності факторів управління потоком. У випадку даної проблематики досліджень цей підхід має ряд суттєвих переваг перед методами експериментальних досліджень, а часто є безальтернативним, оскільки дозволяє визначати локальні параметри турбулентних течій з необхідною для практичних потреб роздільною здатністю та на основі цього проводити цілеспрямовану оптимізацію геометричних та режимних параметрів засобів управління, що є неможливим або вкрай

неефективним на основі використання експериментального підходу. В якості базису для досліджень ефективності управління турбулентними пристінними течіями шляхом неоднорідних впливів в околі обтічної поверхні було проведено моделювання процесу обтікання плоскої пластини набігаючим потоком рідини (рис. 2).

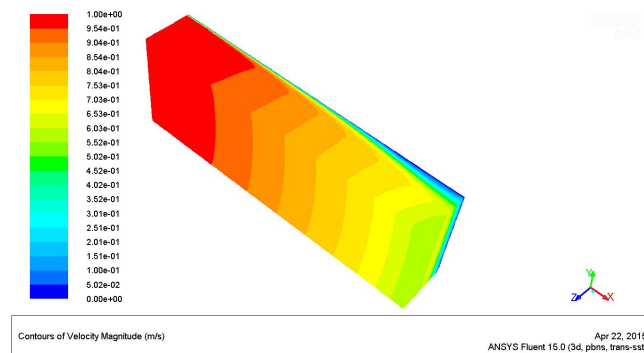


Рис. 2. Поле швидкості набігаючого на пластину потоку

Як видно з рисунка, отримане поле швидкості повністю відповідає фізиці процесу набігання потоку на проску пластину, а тому, в подальших дослідженнях буде проводитись модифікація умов обтікання, цілеспрямоване утворення неоднорідностей на обтічній поверхні та подальше вивчення еволюції течії та її характеристик.

Висновки

Здійснено дослідження, узагальнення та систематизацію наявних результатів в галузі управління пристінними течіями. Проведено аналіз можливостей та базової методології комп'ютерного моделювання турбулентного пристінного руху, за умов наявності засобів керування потоком у порівнянні з експериментальними дослідженнями аналогічного спрямування. Проведене моделювання задачі обтікання плоскої пластини, як базису для подальшого дослідження ефективності управління турбулентними пристінними течіями шляхом неоднорідних впливів в околі обтічної поверхні.

Перелік використаних джерел

1. Шквар Є. О. Математичне моделювання регулярних вихрових структур у кутових конфігураціях обтічних поверхонь — Наукоємні технології. — К.: 2011. — №1–2 (9–10). — 106–110. с.
2. Шквар Є. О. Математичне моделювання турбулентних вихрових структурних особливостей в пристінних течіях — Матеріали Міжнародної інтернет-конференції ММАР-2013. — 63–66. с.