



РАЗВИТИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПАНОРАМНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЕ К ИССЛЕДОВАНИЮ ИНТЕНСИВНЫХ СОБЫТИЙ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Зарипов Динар Ильясович

**к.ф.м.н., с.н.с. лаб. физических основ энергетических технологий
Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск)**

Структура потока жидкости или газа в пристенной области турбулентного пограничного слоя (ТПС) оказывает большое влияние на многие интегральные величины, например, сопротивление трения, знание которых необходимо при разработке новых образцов техники, используемых в различных отраслях человеческой деятельности. Между тем, различные интегральные величины являются результатом осреднения соответствующих флуктуирующих сигналов, возникающих вследствие движения когерентных вихревых структур различной природы и интенсивности. Наиболее интенсивные из этих структур могут оказывать большое влияние на интересующие интегральные величины и являются причиной работы той или иной техники на нерасчетных режимах, часто приводя к их неисправности или даже разрушению. В этом смысле их изучение представляет большой фундаментальный и практический интерес.

К сожалению, теоретическое исследование структуры турбулентных течений зачастую ограничено вычислительными ресурсами и доступно лишь в исследованиях при относительно малых числах Рейнольдса. Недостающую информацию получают из эксперимента. На сегодняшний день наиболее перспективными и бурно развивающимися экспериментальными методами диагностики потока являются панорамные методы цифровой трассерной визуализации, такие как Particle Image Velocimetry (PIV). Однако их



использование при исследовании интенсивных процессов всё ещё требует их дальнейшего развития в сторону увеличения их точности, пространственно-временного разрешения и быстродействия. В настоящей работе разработана серия алгоритмов и методов, позволяющих решить ряд этих проблем, а именно:

1. Разработан бессеточный многопроходный метод PIV, направленный на снижение погрешности измерения мгновенных векторных полей скорости и его производных. Метод позволяет повысить пространственное разрешение и расширить диапазон допустимых градиентов скорости с одновременным снижением погрешности измерения скорости, а также ее первой и второй производных по пространству. Разработанный метод рекомендуется использовать в пристенной области ТПС, где величина скорости обычно того же порядка, что и погрешность ее измерения;
2. Разработана серия алгоритмов, ускоряющих вычисление мгновенных векторных полей скорости, применительно к методам PIV и SIV, допускающих наличие широкого диапазона измеряемых скоростей;
3. Разработан метод фильтрации осциллограмм скорости, позволяющий исключить область частот, в которой величина погрешности измерения скорости преобладает над истинным значением пульсации скорости. Метод учитывает как уровень случайной погрешности измерения, так и уровень турбулентных пульсаций для каждой отдельной компоненты скорости.

Разработанные методы и алгоритмы были использованы при исследовании мелкомасштабных турбулентных структур в пристенной области ТПС. В результате:

1. Исследования процессов диссипации и генерации кинетической энергии турбулентности (КЭТ) обнаружено, что наиболее высокие значения скорости диссипации КЭТ возникают в вязком подслое ТПС под действием сильного вращательного движения квазипродольных вихревых структур, которые, в свою очередь, вызывают наиболее высокие значения генерации КЭТ в буферной области ТПС. Показано, что обнаруженные события составляют 8,2 % и 3,6 % от общего



значения скорости диссипации и генерации КЭТ, соответственно, при их продолжительности не более 0,3 % от общего времени наблюдения;

2. Впервые экспериментально показано существование обратного пристенного течения (ОПТ), т.е. мгновенного локального отрыва потока, при относительно малых числах Рейнольдса $207 < Re_{\tau} < 672$. Предложен и обоснован механизм их формирования, согласно которому ОПТ возникает в результате взаимодействия крупномасштабных областей ускоренного и заторможенного течения с формированием сильного сдвигового слоя на границе их раздела, развивающегося сначала в пристенные поперечные, а затем в подковообразные вихревые структуры, из которых наиболее близкие к стенке индуцируют события ОПТ;
3. Впервые обнаружено явление ОПТ в углах канала квадратного поперечного сечения. Выявлено, что вероятность его возникновения на три порядка выше, чем в центральной области стенки канала. Показано, что механизм его возникновения связан с вихревыми структурами, вытянутыми в продольном направлении и расположенными в окрестности угла канала. События ОПТ, наблюдаемые в углах канала, возникают чаще, имеют большее время жизни и проходят большее расстояние за это время, чем события, наблюдаемые в центральной области стенки.