

Наряду с исследованием системы с периодическими граничными условиями, используемыми в подавляющем большинстве работ рассматривающих ТЛМ, мы проанализировали поведение шарнирно закрепленной на концах ТЛМ. В результате было показано, что на концах мембранны возникают области, в которых адсорбция белковых молекул является гораздо более энергетически выгодной, чем на остальной поверхности ТЛМ.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 15-12-10004.

Асимптотический анализ вязких пульсаций в турбулентном пограничном слое

¹А. Р. Горбушин, ²В. Б. Заметаев

Московский Физико-Технический Институт, г. Жуковский

¹gorbushin.ar@mipt.ru

²zametaev.vb@mipt.ru

В работе построена асимптотическая теория двухмерного турбулентного пограничного слоя на плоской пластине при больших числах Рейнольдса. Подтверждено, что турбулентный пограничный слой делится на основную невязкую часть, содержащую быстрые пульсации относительно основного (осредненного) профиля продольной скорости и вязкий ламинарный подслой. Однако найдено, что вязкий ламинарный подслой не является традиционным тонким слоем, а состоит из набора малых квадратных (в том смысле, что размеры по обоим направлениям одного порядка величины) подобластей, решение в которых удовлетворяет полным уравнениям Навье-Стокса. Определены асимптотические величины толщины турбулентного пограничного слоя и ламинарного подслоя. Найден механизм взаимодействия основной, пульсационной части турбулентного пограничного слоя и малой вязкой области на обтекаемой поверхности. Это взаимодействие описывается спектром решений уравнения Гамеля с большим значением параметра и означает интенсивный обмен жидкостью между этими областями. Решение оказывается быстро осциллирующей функцией, которая описывает множество тонких струек, как втекающих в вязкую пристенную область, так и вытекающих из нее.

Данное решение предлагает механизм генерации мелкомасштабной завихренности (турбулентности) в двухмерных уравнениях Навье-Стокса.

Для анализа полных нестационарных уравнений Навье-Стокса используется метод многих масштабов при стремлении числа Рейнольдса к бесконечности, а неизвестной заранее толщины пограничного слоя к нулю. В качестве основы для рассмотрения используются результаты работы Заметаева и Горбушина, посвященной развитию крупномасштабных пульсаций (вихрей) в ламинарных или турбулентных пограничных слоях в рамках невязкой постановки. В частности используется найденный факт, что малые возмущения относительно основного (осредненного) профиля продольной скорости состоят из суммы сносимых (традиционных решений Рэлея) возмущений и так называемого сингулярного возмущения, которое отвечает за взаимодействие вихрей со стенкой. Показано, что найденные сингулярные аналитические пульсации качественно соответствуют поведению пульсаций в турбулентных пограничных слоях, описанных Райхардтом, а теоретический коэффициент корреляции пульсаций близок по величине к экспериментальному значению. Вблизи стенки описана вязкая малая ламинарная область, решение в которой удовлетворяет полным уравнениям Навье-Стокса, но эта область не является тонким слоем, а имеет квадратную форму. Таким образом, в каждой точке по медленной переменной вдоль пластины, происходит взаимодействие крупномасштабных пульсаций в пограничном слое со своей малой вязкой ламинарной областью на дне пограничного слоя. То есть быстрое решение имеет сложную форму по времени и пространству, но в результате дает свой вклад в эволюцию осредненного профиля скорости в турбулентном пограничном слое.

Литература

1. Zametaev V. B., Gorbushin A. R. Evolution of vortices in 2D boundary layer and in the Couette flow // AIP Conference Proceedings 1770, 030044 (2016) doi: 10.1063/1.4963986.
2. Reichardt H. Messungen turbulenter Schwankungen // Naturwissenschaften 404 (1938).