

532.517.4(049.3)

ТУРБУЛЕНТНЫЕ СДВИГОВЫЕ ТЕЧЕНИЯ. I

Turbulent Shear Flows. I: Selected Papers from the First International Symposium on Turbulent Shear Flows. Pennsylvania, USA, April 18—20, 1977/Ed. F. Durst, B. E. Launder, F. W. Schmidt, S. H. Whitlaw.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1979.— 415 p.

Хорошо известно, что почти всякое турбулентное течение жидкости является сдвиговым. Поэтому «изучение турбулентных потоков с поперечным сдвигом, порождающих естественным образом диссипацию энергии среднего потока при помощи турбулентного трения, является центральной задачей теории турбулентности» (из предисловия А. Н. Колмогорова к переводу книги А. Таунсенда «Структура турбулентного потока с поперечным сдвигом», М.: ИЛ, 1959) *). Открытие в последние годы когерентных структур в полностью развитой турбулентности и появление новых представлений о возникновении стохастичности в рамках уравнений Навье — Стокса дают основания рассчитывать на успех при исследованиях в этой чрезвычайно сложной области. Подчеркнем, что эксперимент со сдвиговой турбулентностью очень трудоемок и сложен — пространственная неоднородность течения приводит к необходимости измерения параметров потока во многих точках одновременно без воздействия на структуру течения.

Рецензируемая книга дает представление о современном состоянии как экспериментальных, так и теоретических работ в этой области. Сейчас стала особенно ясна необходимость исследования классических течений в режиме, позволяющем управлять течением и вмешиваться в ход развития турбулентности, что существенно расширяет возможности исследователя. Именно такой подход лежит в основе ряда работ, вошедших в гл. I «Свободные течения» и гл. II «Пристеночные течения». К. Bremhorst, W. H. Natch исследуют осесимметричную свободную струю, пульсирующую на частотах 10 и 25 Гц с амплитудой пульсаций 100%, и обнаруживают подобие усредненных характеристик пульсирующей и неппульсирующей струй; G. Fabris при исследовании

*) Одно время казалось, что аналитическое исследование идеализированной — однородной изотропной турбулентности может быть проведено почти до конца, и максимум интереса теоретиков несколько сместился в эту сторону; к сожалению, надежды не оправдались — отсутствие обоснованных гипотез замыкания не дало возможности достичь в понимании изотропной турбулентности существенно более высокого уровня в сравнении со сдвиговой.

дальнего следа за цилиндром слегка подогревал последний и при обработке использовал данные о течении нагретой и ненагретой жидкости; J. Cousteix и др. при изучении пограничного слоя возбуждали в потоке осцилляции, раздельно анализируя затем периодическую и турбулентную компоненты скорости. Хотя упомянутые работы и не имеют единого идейного стержня, они ценны наличием фактического материала о характеристиках течения в нетривиальной экспериментальной ситуации.

Весьма полезна имеющаяся в книге информация о современной экспериментальной технике. В случае сдвиговых течений, которые часто в силу своей неустойчивости оказываются крайне чувствительными к влиянию внешних возмущений, особый интерес представляют бесконтактные (неразрушающие) методы измерений. В этой связи следует отметить работу X. В. Reed и др., которые использовали лазер-доплеровские анемометры для измерения двухточечных корреляций в струе, и работу С. С. Кутателадзе и др., применивших стробоскопическую технику для исследования поля скоростей в пограничном слое.

Специальная глава книги посвящена исследованию отрывных течений (гл. III). Наибольший интерес представляют работы, где детально исследуются не только крупномасштабная структура течения, но и турбулентный пограничный слой. Отыскание поля скорости таких течений непосредственным численным интегрированием уравнений Навье — Стокса ни сейчас, ни в ближайшем будущем не представляется возможным из-за ограниченности объема памяти и скорости счета компьютеров. Поэтому как для отрывных, так и для свободных турбулентных течений используются те или иные способы численного моделирования, которым посвящены работы двух последних глав. Особый интерес представляют доклады M. D. Love, D. C. Leslie; G. Grötzbach, U. Schuman; N. N. Mansouer и др., касающиеся методов численного моделирования, в которых крупномасштабные движения находятся численным интегрированием, а влияние мелкомасштабной турбулентности учитывается приближенно (в рамках той или иной гипотезы замыкания). Крупномасштабные когерентные структуры идентифицируются в экспериментах, которые, однако, демонстрируют их существенные отличия в различных турбулентных течениях. Это фактически означает, что крупномасштабные структуры невозможно смоделировать в рамках уравнений Рейнольдса каким-либо универсальным способом, даже при описании среднего течения. Напротив, мелкомасштабная турбулентность оказывается универсальной и ее влияние на крупномасштабные структуры можно описать единым образом. Несмотря на успехи, достигнутые на этом пути, пока не ясно, какую точность обеспечивает такой метод численного моделирования и различные варианты его реализации. Этому вопросу посвящена работа M. D. Love, D. C. Leslie, в которой проводится сравнение различных способов моделирования на примере простейшего аналога уравнений Навье — Стокса — уравнения Бюргерса. Заслуживает также внимания моделирование турбулентного слоя с помощью нескольких тысяч дискретных вихрей, при котором вязкие эффекты учитываются посредством введения затухания интенсивности и случайного блуждания каждого вихря (W. T. Ashurst). Моделирование позволило определить не только характеристики среднего поля течения, но и турбулентные сдвиговые напряжения и среднеквадратичные флуктуации скоростей, значения которых при умеренных числах Рейнольдса совпали с соответствующими экспериментальными данными.

Книга прекрасно отредактирована, каждый раздел открывается введением, где обсуждаются основные проблемы и их предыстория. Поэтому, хотя в сборнике и не содержится систематического исследования турбулентных течений, он, несомненно, интересен читателю обилием экспериментального, в том числе и «машинного» материала, и дает весьма полное представление о современном уровне исследований даже с учетом того, что с момента проведения симпозиума прошло около двух лет.

А. Б. Езерский, М. И. Рабинович, М. М. Суцук