

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКБИБЛИОГРАФИЯ

523.507(019.3)

ДВЕ КНИГИ О ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Turbulent Shear Flows — II: Selected Papers from the Second International Symposium on Turbulent Shear Flows/Ed. L. J. S. Bradbury, F. Durst, B. E. Launder, F. W. Schmidt, J. H. Whitelaw. — Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1980.—389 p.

Turbulent Reacting Flows/Ed. P. A. Libby, F. A. Williams. — Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1980.—243 p. — (Topics in Applied Physics. V. 44).

Эти книги примечательны тем, что они посвящены двум наиболее интенсивно развивающимся сейчас областям теории гидродинамической турбулентности — турбулентным сдвиговым течениям и турбулентным реагирующим потокам.

Книга о турбулентных сдвиговых течениях состоит из пяти разделов: модели турбулентности, пристеночные течения, течения с усложненной геометрией, когерентные структуры и течения в атмосфере. По-существу же, статьи, помещенные в этих разделах естественно разделяются по двум направлениям: 1) обсуждение и обоснование различных гипотез замыкания (в основном, опираясь на численное моделирование); 2) исследование природы и методов обнаружения крупномасштабных упорядоченных структур в турбулентных сдвиговых течениях. Первое из отмеченных направлений остается актуальным и в настоящее время, несмотря на все возрастающие возможности вычислительной техники. Это обусловлено не столько трудностями вычислений для каждой конкретной реализации, сколько необходимостью проведения усреднения по большому количеству таких реализаций.

Статьи, посвященные моделированию турбулентных течений, разбиваются на две группы. К первой относятся статьи, касающиеся разработки методов замыкания, используемых в современных численных схемах, ко второй — статьи о методах, которые не приспособлены для конкретных расчетов, но полезны с точки зрения обоснования удобных, однако трудно проверяемых моделей. Такие модели используются при описании трехмерных или существенно неоднородных (например, отрывных) течений. Проверка подобных моделей осуществляется на задачах, в которых ошибки, связанные с физическими допущениями и со схемой счета, могут быть проанализированы независимо. Именно таким ситуациям, когда сложные течения возникают в геометрически относительно простой системе, посвящен ряд теоретических и экспериментальных работ, в которых исследуются течения в прямоугольном канале с неоднородной стенкой (Humphrey, Whitelaw) или с препятствием (Durst, Rastogi; Okamoto), трехмерные пограничные слои на телах вращения (Cebeci, Khattab, Stewartson; Patel, Choi).

Атмосферные течения, которым посвящена отдельная глава, характеризуются огромными числами Рейнольдса и потому представляют интересный объект с точки зрения проверки различных схем замыкания. Однако такие течения обладают рядом особенностей (например, стратификация плотности), учет которых усложняет схемы замыкания или требует использования дополнительных гипотез. О различных аспектах этой проблемы дают представление работы Wunngaard и Lewellen, Teske, Sheng.

Особое место среди работ, посвященных численному моделированию, занимает расчет эволюции турбулентного пятна в ламинарном пограничном слое, выполненный с помощью представления трехмерного поля завихренности набором конечного числа вихревых нитей постоянного сечения (Leonard). Этот метод можно рассматривать как обобщение метода дискретных вихрей, хорошо себя зарекомендовавшего при моделировании двумерных крупномасштабных структур в сдвиговых течениях. Его физичность и наглядность вселяют уверенность, что он получит дальнейшее развитие.

Второй круг вопросов, рассмотренных в книге, касается исследований упорядоченных (когерентных) крупномасштабных структур в сдвиговых течениях. Здесь не обсуждаются когерентные структуры в пограничных слоях, которые явились предме-

том другого специального совещания (США, Мичиган, 30 июня — 1 августа 1979 г.). Возможность такого разделения в какой-то степени свидетельствует о существенном различии когерентных структур в пограничных слоях и свободных сдвиговых течениях. Есть основания полагать, что крупномасштабные структуры в развитых турбулентных пограничных слоях возникают в результате их собственной динамики, в то время как в сдвиговых течениях они являются остатками двумерных крупных вихрей, образовавшихся на переходной стадии. Проблема их идентификации и исследования при наличии мелкомасштабной турбулентности, существенно искажающей картину, является сложной задачей, которой посвящена специальная статья (Yule). В связи с этим конкретные структуры изучаются в неоднократно исследовавшихся ранее простейших течениях, например след за диском (Fuchs, Mercker, Michel), плоский сдвиговый слой (группа авторов из Калифорнийского технологического института). Измерения параметров структур упрощаются при воздействии на течение гармонического возмущения, как это сделано, например, в экспериментах Wignanski, Oster, Fiedler. Дело в том, что в свободных сдвиговых течениях, в отличие от пограничного слоя, когерентные структуры обладают памятью по начальным (или граничным) условиям. Это позволяет не только осуществить их синхронизацию, но и посредством изменения их параметров изменять средние характеристики сдвигового слоя или струи на начальном этапе их развития (Wignanski, Oster, Fiedler). На этом этапе существенную роль играют пока еще до конца не изученные процессы слияния крупных вихрей, которые существенно зависят от частоты и амплитуды внешнего воздействия (Zaman, Hussain).

Вторая книга является единственной в мировой литературе, посвященной систематическому изложению теории турбулентных реагирующих потоков. Эта область, лежащая на стыке гидродинамики, химической кинетики и термодинамики, чрезвычайно сложна как для теоретиков — из-за сложности исходных уравнений и отсутствия хорошо обоснованных моделей, так и для экспериментаторов — из-за отсутствия эффективных методов диагностики таких потоков. Хотя в теории реагирующих потоков в настоящее время еще мало устойчивых результатов, появление такой книги является своевременным, поскольку способствует привлечению внимания теоретиков к этой интересной области исследований и обеспечивает быстрое ознакомление с ней.

Первая глава (Libby, Williams) содержит самосогласованное (современное и в то же время учебное) изложение основ гидродинамической турбулентности, химической кинетики и термодинамики. Такое введение делает книгу очень ценной для быстрого вхождения в новую проблему. Несмотря на то, что книга является, в основном, теоретической, в ней излагаются результаты и методики необходимых для понимания экспериментов (гл. 2 — Mellor, Ferguson), что дает также представление о сложности эксперимента в этой области и о тех немногих случаях, в которых удается сопоставить теорию и эксперимент.

Поскольку скорости химических реакций обычно сложным образом зависят от термодинамических параметров, а реакции протекают с выделением большого количества тепла (горение), исходные уравнения по сравнению с уравнениями Навье — Стокса оказываются не только более высокого порядка, но и содержат дополнительную сильную нелинейность. Это чрезвычайно усложняет решение проблемы замыкания в моделях турбулентности, и требуется пересмотр методов и гипотез обычной гидродинамики и развитие новых подходов. Именно поэтому в книге подробно обсуждаются два предельных случая турбулентных реагирующих потоков: с предварительным перемешиванием (гл. 3 — Bilger) и с полностью перемешиванием (гл. 4 — Bray) реагентами. В первом случае при дополнительных предположениях (бесконечно большой скорости одноступенчатой реакции и равенстве диффузионных коэффициентов) химическая сторона задачи учтена с помощью введения в рассмотрение скалярных величин, сохраняющихся при химических реакциях. В дальнейшем рассмотрены способы обобщения анализа на более сложные реакции, протекающие с конечными скоростями. В другом предельном случае используется метод функции плотности вероятности, позволяющий для простейших сдвиговых течений рассчитать скорости реакций. Подробно этот метод обсуждается в гл. 5 (O'Brien).

В силу малой изученности в книге не рассматривается влияние таких факторов, как радиационный теплообмен, двухфазность, плаваемость, крупномасштабные структуры и т. д. Обзор современного состояния исследований этих аспектов проблемы приведен в заключительной главе (Libby, Williams).

Эти книги будут весьма полезны всем физикам, занимающимся обсуждавшимися выше проблемами.

М. И. Рабинович, М. М. Сушик