Предназначено для студентов, аспирантов и научных работников. Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (Проект № 14-11-00709).

КОГЕРЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Хлопков Ю.И., Жаров В.А., Горелов С.Л.

Московский физико-технический институт, Жуковский, e-mail: zayyarmyomyint@gmail.com

Излагаются основы ламинарного и турбулентного пограничных слоев. Дан критические анализ зарубежных экспериментальных работ, посвященных исследованию физики широкого круга процессов, протекающих в турбулентном пограничном слое. Особое внимание уделено когерентной составляющей поля завихренности. Приводятся оригинальные результаты, полученные авторами. Рассмотрены вопросы детектирования искусственного воспроизведения ряда элементарных событий, наблюдаемых в процессах генерации завихренности в турбулентном пограничном слое на плоской пластине в несжимаемой жидкости. Некоторые явления интерпретированы с точки зрения теории динамических систем.

Настоящая монография посвящена одному из актуальнейших экспериментальных направлений исследования турбулентности – когерентным структурам в турбулентном пограничном слое на плоской пластине. Начало такого рода исследованиям было положено в работе Клайна, Рейнольдса. Шрауба и Рунштадлера. Это направление скорее качественного, чем количественного исследования турбулентности уже длительное время развивается в ряде стран, а также отечественными исследователями, и к настоящему времени получено много интересных результатов, интенсивно обсуждаемых специалистами.

Чтобы отчетливо выявить историческую тенденцию, трудности, спорные места, в монографию включены результаты работ крупных зарубежных представителей этого направления, подводящие итоги определенных этапов этих исследований. Собраны результаты длительных экспериментальных исследований по выделению и определению свойств когерентных (динамических) структур, полученных энтузиастами этого направления в течение приблизительно 50 лет (с 1940–1950 г. по 2000 г.).

Эти исследования проводились зачастую наощупь, когда еще отсутствовали основные понятия, определения, установившаяся методика. Тем не менее, результаты, убедительно доказывают существование когерентного *динамического* компонента в турбулентных течениях, отличного от когерентных структур, образующихся вследствие ряда *кинематических* эффектов в стохастических полях. В работе определение когерентной структуры, которое позволяет свести воедино многочисленные частные формулировки, используемые другими исследователями, описаны требования к процедурам детектирования и выделения таких структур.

В связи с этим интересно отметить работы, проводимые в области создания искусственного интеллекта с целью распознавания образов. Укажем один из результатов в распознавании зрительных образов: входной сигнал перед обработкой на идентификацию образа подвергается логарифмированию. При этом геометрически подобные объекты в «перцептивном пространстве» оказываются равными по величине, но сдвинутыми друг относительно друга, что упрощает идентификацию схожих по геометрической конфигурации, но различных по размерам образований. Этим мы хотим подчеркнуть возможное взаимное влияние двух областей исследований.

Кроме того, в работе сопоставлены конкурирующие представления, выявлены сомнительные места в общепринятых рассуждениях и высказаны критические замечания. Результаты работы получены сравнительно недавно и подводят итог в решении проблем, которые были поставлены ранее при исследовании структур в турбулентном пограничном слое. В частности, приведены аргументы, позволяющие как будто бы окончательно решить вопрос о масштабировании частоты «берстинга», который решен на денном этапе, в противовес утверждению Кантуэлла, в пользу вязких масштабов. Необходимо отметить и то, что терминология в этой области не всегда оказывается достаточно установившейся. Это видно на примере терминов «шпилькообразный вихрь» и «подковообразный вихрь».

Исследователи убеждены, что все это разнообразие вихрей можно получить из шпилькообразных вихрей при различных числах Рейнольдса. Здесь, видимо, уместно провести аналогию между понятием когерентной динамической структуры в турбулентных течениях и понятием элементарной частицы в физике элементарных частиц. Для последней области характерны быстрые темпы развития, обусловленные взаимодействием теоретических и экспериментальных исследований, а также новейших методов компьютерной обработки и накопления информации. На ранних стадиях своего развития физика элементарных частиц «коллекционировала» элементарные частицы. На более поздних стадиях она перешла к попытке объяснения их свойств с помощью сведения к меньшему числу частиц. В результате появились так называемые кварки, которые вообще не являются наблюдаемыми непосредственно в эксперименте объектами! В настоящее время физика элементарных частиц рассматривает третье поколение кварков.

Так или иначе, в исследованиях турбулентных структур сейчас задействовано огромное

число специалистов и расходуются весьма значительные средства.

Согласно представленным здесь результатам трех работ ведущих ученых в области исследования структур, наиболее важной проблемой в изучении турбулентного пограничного слоя является проблема квазипериодических выбросов жидкости из пристенной области течения «берстинга» (механизмы «берстинга», его связь с крупномасштабными структурами и т.д.). Поэтому последняя часть монографии посвящена рассмотрению искусственно созданных гидродинамических образований, моделирующих то или иное событие, связанное с «берстингом».

Для исследователей на современном этапе характерно, что они стремятся ввести дополнительные, по сравнению с плоским течением, элементы, например, градиенты продольного давления, шероховатость, рифление, многозвенные полимеры в жидкостях и т. д., для того, чтобы выявить связь «берстинга» с внешними структурами, более отчетливо понять, механизмы его протекания, т.е. *исследования становятся междисциплинарными. В* такой постановке задача сводится к поиску таких условий проведения эксперимента, при которых можно было бы проще всего понять изучаемое явление. Рассматривая область развитого турбулентного течения в пограничном слое, нельзя забывать об областях, предшествующих ей в течении около пластины, а именно ламинарной и переходной. В связи с этим возникает целый ряд проблем, таких как восприимчивость, развитие возмущений и ламинарной области, сценарии перехода, зависящие от условий вблизи передней кромки пластины и т. д., которые успешно решаются рядом отечественных исследователей.

В ряде работ рассмотрен переход течения при турбулентном набегающем потоке, при этом показано, что переход в пограничном слое начинается, минуя стадию возбуждения волн Толлмина-Шлихтинга. Интересные результаты получены по взаимодействию внешней турбулентности с возмущениями на нелинейной стадии развития в допереходной области.

Сравнительно давно развиваются волновые представления о явлениях, происходящих в допереходной области. Этот подход успешно развивается рядом исследователей Новосибирской школы. Результатом этих исследований явились работы, в которых предложена резонансная модель перехода. Эта модель заключается в том, что в допереходной области последовательно возбуждаются три типа резонанса: гармонический, параметрический и трехволновой, которые, благодаря взаимному действию, распространяются в пространстве волновых чисел и, тем самым, вовлекают другие масштабы в динамику, связанную с развитием возмущений. Допереходная область интересна еще тем, что в ней в ламинарном режиме можно моделировать некоторые процессы, протекающие в области развитой турбулентности. Ряд результатов, представленных в монографии, получен сравнительно давно и может показаться устаревшим. Это касается прежде всего представлений, связанных с «берстингом» и структур, появляющихся в процессе его протекания. Заметим здесь, что существенных изменений в этих представлениях к настоящему времени не произошло. Более того, оказалось, что эти представления продолжают получать подтверждение или уточняться в работах последнего времени.

Кинга предназначена для широкого круга читателей (студентов, аспирантов и преподавателей), интересующихся современными проблемами описания турбулентных течений. Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (Проект № 14-11-00709).

ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ (учебное пособие)

Чернышов Е.А., Паньшин В.И.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, e-mail: nil_st@nntu.nnov.ru

Литейное производство – это сложный и трудоемкий процесс, сущность которого заключается в получении жидкого расплава необходимого состава и качества и заливки его в заранее приготовленную форму. В процессе перехода металла из жидкого состояния в твердое происходит кристаллизация и затвердевание и последующее охлаждение металла, формируются физико-механические и служебные свойства и дефекты отливок. Поэтому решение вопросов повышения качества отливок начинается на стадии проектирования конструкции детали и технологического процесса литья. На этой стадии формируются основные затраты на изделие. Отсюда видно как важна консолидация творческих усилий конструктора детали и технолога литейщика.

Конструктор, назначая марку сплава и проектируя конструкцию детали, уделяет внимание конструктивной прочности, условиям работы, требованиям технологии механической обработки и ее внешнему виду. Инженер-литейщик, изучая спроектированную деталь, обращает внимание на другие вопросы: пытается анализировать литейные свойства сплава; условия формирования отливки в процессе теплопередачи, кристаллизации, затвердевания и охлаждения; сложность конфигурации и толщину стенок отливки; наличие выступов, впадин и горячих узлов; возможность обеспечения направленного или одновременного затвердевания. Другими словами, технолог-литейщик оценивает возможность получения детали тем способом литья,