



## **ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И КОГЕРЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ: обзор тематического выпуска**

Проблема турбулентности в различных ее проявлениях уже давно стала одной из актуальных проблем физики. Не говоря о гидродинамике, где эта проблема является центральной, вопросы происхождения турбулентности волнуют ученых, занимающихся плазмой, полупроводниками, электроникой, оптикой и другими разделами физики. Очередной бум в теории турбулентности был вызван открытием возможности сложных хаотических движений в простых системах, отражаемых в фазовом пространстве странным аттрактором. Любой переход к турбулентности стал рассматриваться как возникновение такого аттрактора. Однако дальнейшие исследования показали, что все не так просто, и что турбулентность есть значительно более сложное и по-прежнему не вполне понятное явление.

Не случайно наш номер открывается интереснейшей статьей Ю.Л. Климонтовича, в которой он излагает свою точку зрения на вопрос, что же такое турбулентность. Естественно, что эта точка зрения является несколько односторонней, потому что, на наш взгляд, достоверного ответа на поставленный вопрос в настоящее время дать невозможно. И связано это, по-видимому, с тем, что вообще не может быть единого объяснения турбулентности. Существует несколько причин возникновения турбулентности, хотя среди них имеется главная - это неустойчивость регулярного движения. Однако одной неустойчивости, если она является конвективной, мало: необходимы либо обратная связь, приводящая к возбуждению автоколебаний, либо постоянный приток возмущений в систему. Эти вопросы обсуждаются в послесловии к статье Ю.Л. Климонтовича.

Хотя турбулентность, безусловно, представляет собой волновое движение, использование для ее изучения, особенно в гидродинамике, достижений теории колебаний и волн явно недостаточно. Первые попытки такого подхода в применении к струйным и отрывным течениям сделаны в работе А.С. Гиневского и П.С. Ланды. Показано, что многие установившиеся в литературе представления о возникновении так называемых когерентных структур - крупномасштабных образований, всегда существующих на фоне случайного движения жидкости, - не выдерживают критики с точки зрения общих законов теории колебаний. Чтобы удовлетворить этим законам, пришлось предположить, что в ряде случаев в существующих представлениях причина и следствие поменялись местами. Еще один интересный факт состоит в том, что рассмотрение с точки зрения теории колебаний известной экспериментальной зависимости частоты срыва вихрей при обтекании колеблющегося цилиндра от частоты его колебаний, во-первых, позволило сделать вывод о том, что срыв вихрей с неподвижного цилиндра представляет собой автоколебательный процесс (этот вывод является далеко не очевидным), а, во-вторых, дать естественную трактовку наблюдающейся зависимости как проявления синхронизации генератора внешним периодическим воздействием.

Работа С.М. Белоцерковского и А.С. Гиневского посвящена описанию и исследованию при помощи компьютера вихревой модели турбулентности в применении, главным образом, к струям, следам и отрывным течениям. В этой работе для описания турбулентных процессов используется так называемый метод дискретных вихрей, то есть волновые движения в жидкости заменяются взаимодействием частиц. Ситуация здесь весьма схожа с использованием метода крупных частиц в СВЧ электронике. В разработку метода дискретных вихрей,

которым авторы занимаются около 25 лет, они внесли очень большой вклад. В настоящее время ими написана монография «Моделирование турбулентных струй и следов на основе метода дискретных вихрей». М.: Наука, 1995. Метод позволяет эффективно описывать образование крупномасштабных когерентных структур и рассчитывать спектры турбулентных возмущений без введения эмпирических констант. Результаты расчетов, сделанных авторами при помощи компьютера, удовлетворительно согласуются с данными экспериментов. Однако обоснование метода, оценка пределов его применимости и непредвзятое описание его недостатков и достоинств в указанных статьях, к сожалению, отсутствуют. Утверждение авторов о том, что за счет процессов регуляризации и упрощений в процессе вычислений косвенно учитывается вязкость жидкости, требует серьезного обоснования, потому что эффективная диссипация, получаемая за счет этих процессов, может совершенно не соответствовать той, которая обусловлена истинной вязкостью жидкости.

Статья С.М. Белоцерковского и Н.В. Хлапова дополняет предыдущую статью, поскольку демонстрирует, каким образом может быть учтена диффузия вихрей, особенно существенная при малых числах Рейнольдса. Такой учет необходим для существенного уточнения результатов расчетов с целью их практического применения.

В статье С.Я. Герценштейна, Е.Б. Родичева и А.Н. Сухорукова подводится итог их двадцатилетних численных исследований в области нелинейного взаимодействия гидродинамических возмущений при переходе от ламинарного течения к турбулентному, которые проводились в Институте механики МГУ. Здесь, по существу, выявлен целый ряд бифуркаций (хотя такой термин в работе не используется); некоторые из них не были известны, например, возможность жесткого возникновения хаотического режима термоконвекции. Несмотря на излишне конспективный стиль статьи и на недостаточную обоснованность используемой методики (в частности, отсутствие обсуждения граничных условий, при которых справедливы полученные авторами результаты), статья представляет большой интерес и открывает широкое поле для дальнейших исследований.

В заключение следует отметить, что такая широкая тема, как гидродинамическая турбулентность, не может найти сколько-нибудь полного отражения в одном выпуске журнала. Тем не менее, редакция надеется, что даже представленный материал, который является неизбежно ограниченным, будет полезен для читателей.

Редактор выпуска профессор кафедры акустики  
Московского государственного университета

*П.С. Ланда*



*Ланда Полина Соломоновна* родилась в 1931 году в Киеве, окончила физический факультет МГУ в 1953 году. С 1956 года работает на физическом факультете МГУ. Защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в МГУ (1959) и доктора физико-математических наук в Горьковском госуниверситете (1972) в области теории колебаний и волн. Профессор, ведущий сотрудник МГУ. Область научных интересов - теория колебаний и волн, радиофизика, применение методов нелинейной динамики в различных областях науки. Автор и соавтор четырех монографий по колебаниям и волнам, в том числе монографии «Стохастические и хаотические колебания», переведенной на английский язык. В настоящее время готовит монографию «Нелинейные колебания и волны в динамических системах», которая выйдет в издательстве «Kluwer» (Голландия). Член Национального комитета по механике (Россия).

Опубликовала много научных статей по направлениям, указанным выше. Член редакционной коллегии журналов «Chaos, Solitons and Fractals» и «Прикладная нелинейная динамика».