

Рис. 2. Фотографии визуализированных вихрей Тейлора: а— $Re/Re_c=1,1$; б—6,0; в—16,0; г—23,5 (P. R. Fenstermacher, H. L. Swinney, J. P. Gollub, 1979).

векция Бенера—Рэлея). Отличие лишь в том, что при малой надкритичности (т. е. малом превышении управляющим параметром своего критич. значения) усложнение течения первоначально связано не с изменением временной динамики, а с изменением пространств. симметрии течения. В результате развития вторичных неустойчивостей происходит усложнение индивидуальных структур и/или появляются дефекты в упорядоченной решётке структур. На рис. 3 представлено разбиение плоскости параметров Рэлея число Ra —Прандтля число Pr на области, где реализуются конвективные движения разл. типов ($Ra = g\Delta T h^3 \beta / \nu k$, $Pr = \nu / k$, где g —ускорение свободного падения, $\Delta T > 0$ —разность температур на ниж. и верх. границе слоя, h —его толщина, ν —вязкость, k —температуропроводность среды, β —коэф. теплового расширения). Первый переход от гидродинамич. равновесия к стационарной двумерной конвекции не зависит от Pr и при $Ra > Ra_1$ приводит к возникновению устойчивых структур в виде конвективных валов—двумерных вихрей (одномодовый режим). При больших числах Pr с ростом Ra происходит второй переход—при $Ra > Ra_2$ двумерные

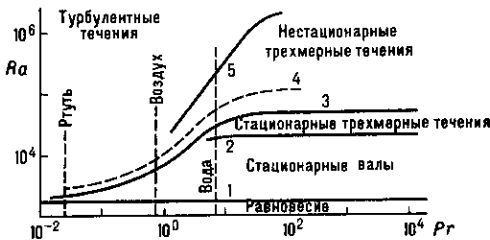


Рис. 3. Области существования различных конвективных режимов в горизонтальном слое подогреваемой снизу жидкости, построенные на основе обработки экспериментов с различными жидкостями и газами (R. Krishnamurti, 1973).

движения сменяются трёхмерными стационарными режимами, к-рые соответствуют возбуждению уже многих степеней свободы течения. Затем (при $Ra > Ra_3$) этот стационарный режим переходит в колебательный [при малых $Pr (Pr < 5)$ стационарный одномодовый режим сразу сменяется нестационарным]. По мере роста неравновесности (числа Рэлея) характер колебат. движения усложняется и в области между границами 3 и 5 при $Ra > Ra_4$ возникают нерегулярные колебания со сплошным спектром. При дальнейшем увеличении $Ra (Ra > Ra_5)$ усложняется и пространств. структура течения—в хаотическое движение включаются новые степени свободы—рождается Т.

Примером течения, в к-ром наблюдается резкий переход, непосредственно переводящий течение из стационарного состояния в хаотическое со сложной пространств. структурой, является течение между параллельными поверхностями. Исходное плоскопараллельное течение (течение Пуазейля, см. Пуазейля закон) с зависимостью продольной компоненты скорости $u(z)$ от поперечной координаты z : $u = u_0 [1 - (z/h)^2]$ ($2h$ —расстояние между поверхностями) становится неустойчивым по отношению к бесконечно малым двумерным возмущениям при $Re \geq Re_c = u_0 h / \nu = 5772$. Однако по отношению к двумерным возмущениям конечной амплитуды течение неустойчиво и при меньших числах Рейнольдса (докритическая неустойчивость). Для течений с докритич. неустойчивостью характерно, что неустойчивые возмущения в них возникают в виде волн с конечной амплитудой. В течении Пуазейля эти волны, в свою очередь, являются неустойчивыми по отношению к трёхмерным бесконечно малым возмущениям. Более того, как показывают численные и физ. эксперименты, неустойчивость по отношению к трёхмерным возмущениям сохраняется для двумерных волн достаточно большой амплитуды и при таких Re , при к-рых они являются затухающими ($700 \leq Re \leq 2900$). Существующие в реальных течениях нач. возмущения обычно приводят в действие докритич. неустойчивость. При этом возникают пакеты трёхмерных возмущений достаточно большой амплитуды, способные из-за нелинейных процессов преобразовываться в мелкомасштабную Т. Течение в этом случае состоит из уединённых областей Т. (турбулентных пятен), погружённых в ламинарное окружение (рис. 4). Рост Re ведёт к увеличению числа случайно разбросанных турбулентных пятен, а затем и к турбулизации всей области течения.

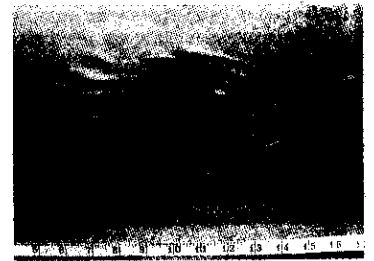


Рис. 4. Визуализация турбулентного пятна в плоском течении Пуазейля при $Re = 10^3$, $h = 3$ мм на расстоянии $x = 64h$ от входа в канал (D. R. Carlson, S. E. Widnall, M. F. Peeters, 1982).

Ещё более сложные и разнообразные процессы обнаруживаются при переходе от ламинарного течения к турбулентному в пограничных слоях вблизи твёрдых поверхностей. В простейшем случае пограничного слоя на плоской пластине его толщина $\delta \sim \sqrt{\nu x / u_0}$ и локальное число Рейнольдса $Re = \delta u_0 / \nu$ растут с расстоянием x вдоль потока. Линейный анализ устойчивости показывает, что достаточно слабые возмущения, распространяясь вдоль потока, должны неизбежно затухать. Поэтому, как и в случае течения Пуазейля с докритич. неустойчивостью, на характер перехода влияет уровень возмущений в набегающем потоке, запускающих нелинейные механизмы, а в переходной области также наблюдаются турбулентные пятна, хотя и с несколько отличающимися параметрами. При задании регулярных нач. двумерных возмущений (напр., с помощью вибрирующей ленты) с ростом Re (т. е.