

Рис. 7

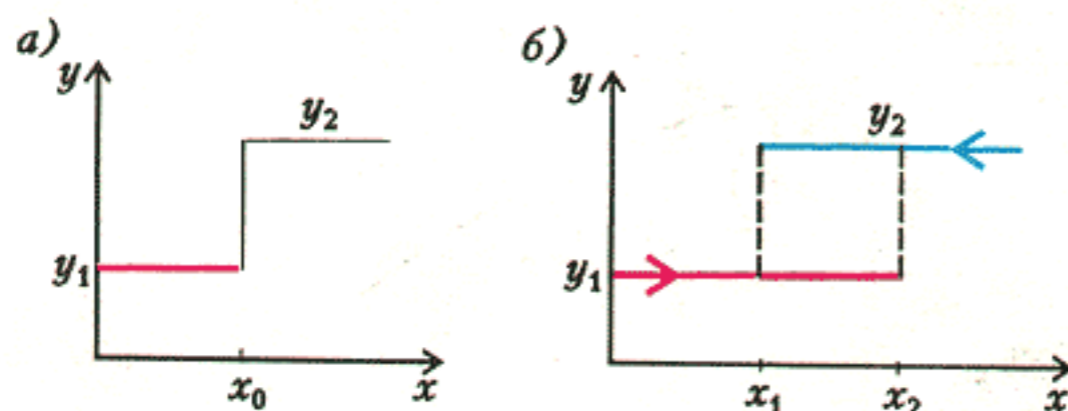


Рис. 8

решении квадратного уравнения вы получили два корня. Какой из них выбрать? Давайте переберем все возможные случаи, обратившись к опыту. Если в опыте не реализуется ни один из возможных корней, то это означает, что математическая модель — квадратное уравнение — несправедлива. Если в опыте реализуется лишь один из полученных корней, то он оказывается устойчивым по отношению к малым внешним возмущениям, а другой корень — неустойчивым. Наконец, имеется третья возможность — когда могут реализоваться оба решения. Если при значении параметра ($x = x_0$) происходит смена одного решения ($y = y_1$) на другое ($y = y_2$), то говорят о *бифуркации* решения (рис.8,а). Если в некотором диапазоне значений параметра ($x_1 \leq x \leq x_2$) существуют оба

ветвующего максимальному значению коэффициента подъемной силы C_y .)

С парадоксами неединственности ученые столкнулись еще на заре развития авиации. В 1910 году на авиационном салоне под Парижем молодой ученый из Румынии А.Коанда поднял в воздух сконструированный им самолет, который смело можно назвать прототипом современных реактивных летательных аппаратов. Из сопел, расположенных по бокам фюзеляжа, вырывались огненные струи. После успешного полета отделавшийся ушибами изобретатель принимал восторженные поздравления. «Молодой человек! Вы опередили эпоху на 30, а то и на все 50 лет!» — сказал ему Эйфель. Но триумфатор думал о другом — о странном поведении огненной струи во время разбега

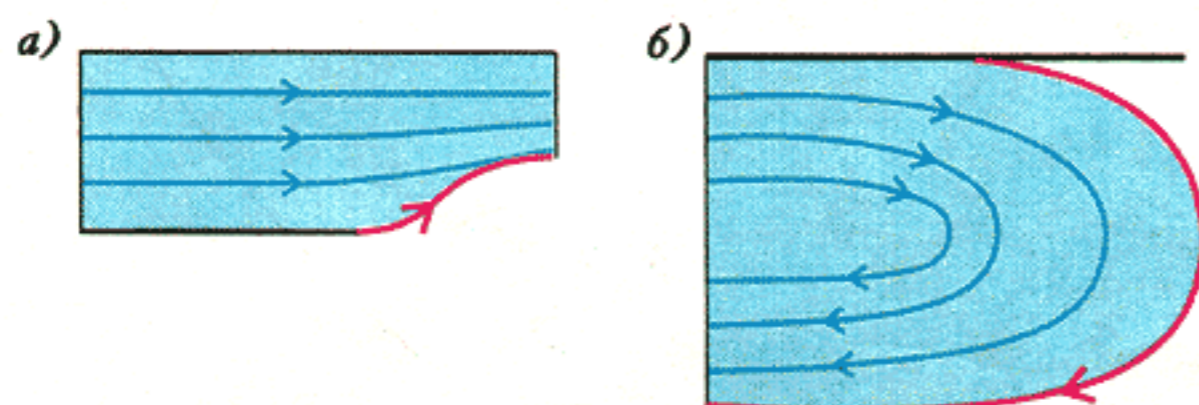


Рис. 9

решения, то говорят о *гистерезисе* (рис.8,б): одно решение ($y = y_1$) реализуется, если параметр (x) увеличивать, начиная от некоторого значения ($x < x_1$, прямой ход), другое решение ($y = y_2$) реализуется, если параметр (x) уменьшать, начиная от некоторого значения ($x > x_2$, обратный ход). В этом случае выбор решения зависит от предыстории процесса. (Гистерезисные режимы обтекания крыла наблюдаются, например, вблизи значения угла атаки α , соот-

самолета. Струя вместо того чтобы отражаться от специально установленных металлических щитков, защищающих фанерный фюзеляж от воспламенения, прижималась к ним, разворачиваясь в обратную сторону.

Открытие, названное впоследствии «эффектом Коанда»¹, сначала не привлекло к себе внимания. В тече-

¹ См., например, статью Дж. Раскина «Окрыленный эффектом Коанда» в пятом номере журнала за прошлый год. (Прим. ред.)

ние последующих 25 лет Коанда, уже известный авиаконструктор, самостоятельно проводил опыты, отыскивая своему открытию возможные области применения. Сегодня эффект Коанда используется при разработке двигателей для аппаратов на воздушной подушке и судов с подводными крыльями, для повышения тяги реактивных сопел, для торможения самолетов при посадке и для глушения шума реактивных двигателей.

С эффектом Коанда мы встречаемся каждый день, досадуя, что струя, вытекающая из носика чайника, вдруг прилипает к его поверхности и льется мимо чашки. Такой поворот струи и прилипание к твердой поверхности гидродинамики в шутку называют еще «эффектом чайника». На рисунке 9,а показана схема истечения струи из канала без поворота, а на рисунке 9,б — с поворотом. Получено два решения. Но разгадан ли парадокс Коанда? К сожалению, нет — неизвестно, при каких условиях реализуется тот или иной режим.

Мы не обсудили еще один критерий корректности математической модели — устойчивость решения. Случайные, неустойчивые по отношению к малым возмущениям процессы нельзя исследовать с помощью классического аппарата математики. Определить отдельную беспорядочную траекторию невозможно, как невозможно предсказать, будет ли дождь через месяц. В лучшем случае можно рассчитывать на получение некоторых общих выводов. Очень хорошо об этом сказал русский поэт и философ В.С.Соловьев:

«Природа с красоты своей
Покрова снять не позволяет,
И ты машинами не вынудишь у ней,
Чего твой дух не угадает».

Парадокс неустойчивости заключается в том, что обтекание тела при стационарных внешних условиях зависит от времени. Пример нестационарного течения демонстрирует, например, рисунок 3. Обтекание становится нестационарным, когда число Рейнольдса превышает некоторое критическое значение. Доподлинно известно, что нестационарность вызвана неустойчивым характером отрыва потока от тела, но до окончательного разрешения парадокса нестационарности еще далеко.