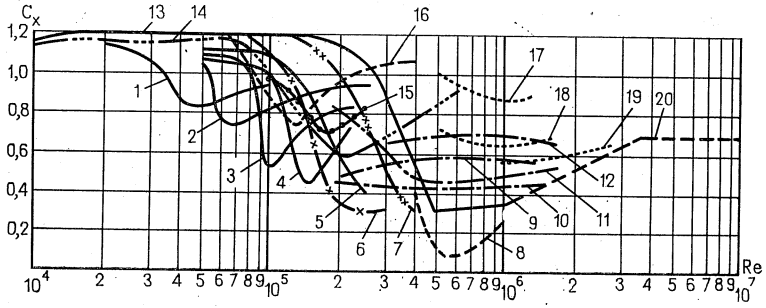


РИС. 3.8.

Зависимость коэффициента лобового сопротивления C_x от числа Рейнольдса: *1, 2, 3, 4, 5* — по Фэджу и Уорсэпу (различная шероховатость цилиндров); *6* — по Релфу (гладкий цилиндр); *7* — по Эйснеру (гладкий цилиндр); *8* — по Делани и Соренсену (гладкий цилиндр); *9, 10, 11, 12* — по Накагаве, Фунджино, Арите, Огате и Масаки (*9* — цилиндр, обмотанный четырьмя спиралями проволоки; *10* — цилиндр, установленный позади веревочной сетки; *11* — гладкий цилиндр; *12* — цилиндр, обмотанный восемью спиралями проволоки); *13* — по Визельсбергеру (гладкий цилиндр); *14, 15, 16* — по опытам Бородавкина и Шадрина (*14* — гладкий цилиндр, *15* — цилиндр бетонированный, *16* — цилиндр футерованный рейками); *17, 18, 19* — по Илышеву и Штеренлихту (*17* — цилиндр футерованный рейками: *18, 19* — цилиндры без реек); *20* — по Рошко (гладкий цилиндр)

мости коэффициента лобового сопротивления C_x от числа Рейнольдса

$$\mathrm{Re}=\frac{vD}{\nu}, \qquad (3.4)$$

где ν — коэффициент кинематической вязкости жидкости, по результатам экспериментов, выполненных различными исследователями, показан на рис. 3.8.

Коэффициенты сопротивлений определяют по эпюре распределения давлений, измеренных на поверхности цилиндра, поскольку доля сопротивления трения в общем сопротивлении цилиндра при поперечном обтекании не превышает даже для сильно шероховатых поверхностей 2—3%. Кроме того, значение C_i может быть вычислено непосредственно по величине P_i, измеряемой весовыми устройствами.

Как видно из рис. 3.8, C_x при $\mathrm{Re}=2\cdot10^4\div10^5$ сохраняет постоянное значение, равное 1,2. В этом диапазоне чисел Re результаты многих исследователей совпадают. При числах $\mathrm{Re}=10^5\div5\cdot10^5$ наблюдается резкое уменьшение коэффициента C_x (так называемый кризис сопротивления) до $\sim0{,}3$ для гладких цилиндров. С увеличением числа Рейнольдса от $5\cdot10^5$ до $4\cdot10^6$ значение C_x возрастает до 0,7 и при дальнейшем увеличении Re, включая и верхнюю границу $\mathrm{Re}=10^7$, C_x не изменяется, оставаясь равным 0,7.

Значения C_x в зоне кризиса сопротивления по данным различных исследователей не совпадают (см. рис. 3.8), что объясняется разными условиями опытов, в частности, различными степенью турбулентности потоков и шероховатостью поверхности цилиндров. Большие расхождения значений C_x объясняются здесь, кроме того, и трудностями измерения, и особой чувствительностью потока к условиям эксперимента.

При исследовании обтекания цилиндров в аэродинамических трубах в случае больших чисел Рейнольдса весовые измерения становятся затруднительными, и для определения силового воздействия измеряют распределение давления по периметру в одном или двух сечениях модели. Принимают, что вследствие двухмерности плоского потока распределения давлений по поверхности цилиндра будут одинаковы во всех сечениях.

Однако, как показывают исследования распределения давления по длине цилиндра [26, 29], в лобовой его части ($0\leqslant\theta\leqslant60°$) давление вдоль образующей цилиндра практически не меняется; в зоне отрыва потока от поверхности цилиндра ($70<\theta<120°$) наблюдается значительная неравномерность распределения давления вдоль цилиндра; в застойной зоне на поверхности цилиндра давление вдоль его образующей вновь становится постоянным. Наличие вдоль образующих цилиндра значительных градиентов давления свидетельствует о существовании трехмерной структуры потока в зоне отрыва пограничного слоя.

Как показывают расчеты величины C_x по результатам распределения давления в отдельных сечениях цилиндра, в закризисной области чисел Рейнольдса существует значительная неравномерность изменения C_x по длине цилиндра. При некоторых числах Re коэффициент C_x может изменяться вдоль образующей цилиндра.

Эти данные могут в некоторой степени объяснить значительный разброс значений C_x, полученных по распределению давлений в одном сечении цилиндра по данным различных исследователей (см. рис. 3.8).

В современной аэрогидродинамике физическая природа кризиса сопротивления объясняется изменением распределения давления и положением точки отрыва потока на поверхности цилиндра. До кризиса сопротивления отрыв потока происходит при ламинарном пограничном слое, и точка отрыва расположена на передней части цилиндра, поток отрывается при угле $\theta=81\div85°$, ширина кильватера больше диаметра цилиндра (рис. 3.9). С увеличением числа Рейнольдса до некоторого значения $\mathrm{Re}_{кр}$, при котором наступает кризис сопротивления, пограничный слой становится турбулентным и может противостоять бóльшему повышению давления. В этом случае точка отделения потока перемещается к задней части цилиндра ($\theta=110\div120°$), а ширина кильватера $D_к$ уменьшается до значений, меньших диаметра цилиндра (см. рис. 3.9), в результате чего и наблюдается уменьшение коэффициента C_x.

Если искусственным путем перемещать точки отрыва потока при заданном Re, то сопротивление будет принимать значения,