

РИС. 3.10.
График зависимости $C_{y_s}/C_{y_{s=0}}$ от s/D

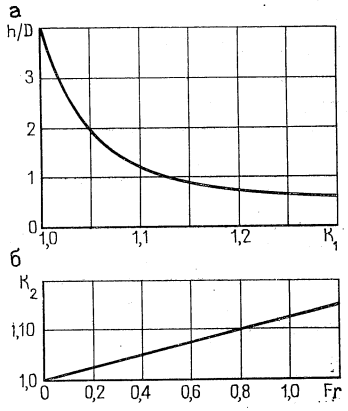


РИС. 3.11.
Графики зависимостей коэффициентов K_1 от h/D(*а*) и K_2 от Fr(*б*)

ния C_x' при $h/D<4$ ориентировочно может быть получено умножением C_x на коэффициент K_1, учитывающий влияние h/D, и на коэффициент K_2, учитывающий параметр Fr.

$$C_x' = K_1 K_2 C_x.$$

Значения коэффициентов K_1 и K_2 определяются по графикам рис. 3.11.

Рассмотренные выше случаи относятся к поперечному обтеканию трубопровода, т. е. когда вектор скорости потока направлен перпендикулярно к продольной оси трубы (угол скольжения потока $\beta=90°$). Створы трубопроводов на подводных переходах через реки, как правило, назначаются перпендикулярно берегам реки, поэтому для речных переходов почти всегда будет иметь место поперечное обтекание трубопровода.

При прокладке морских трубопроводов направление течения может изменяться, и вектор скорости потока может быть направлен под различными углами β к продольной оси трубопровода. Поэтому для морских трубопроводов представляет практический интерес результаты обтекания цилиндров в косом потоке, т. е. с углами скольжения β, отличными от 90°.

При докритических числах Рейнольдса ($Re<Re_{кр1}$) вектор скорости набегающего на цилиндр косого потока можно разложить на две составляющие: перпендикулярную к оси цилиндра $v_1=v_0\sin\beta$ и касательную $v_2=v_0\cos\beta$. Коэффициент лобового сопротивления C_x принимается таким же, как и при обтекании цилиндра чисто поперечным потоком со скоростью v_1. Сопротивление от продольной составляющей скорости v_2, обусловленное силами трения при продольном обтекании цилиндра бесконечного удлинения ($l/D\to\infty$), незначительно и им в расчете пренебрегают.

Обтекание цилиндров косым потоком при $Re>Re_{кр1}$ исследовано недостаточно полно. В работе [29] приводятся сведения по обтеканию наклонного цилиндра с удлинением $l/D=6$ в аэродинамической трубе при $Re=6{,}67\cdot10^5\div2\cdot10^6$. Результаты опытов показывают, что при углах скольжения $\beta\leqslant30°$ распределение давления практически не зависит от Re; при $\beta=60°$ и $\beta=75°$ наблюдается заметная зависимость распределения давления от Re; угол $\beta=45°$ в этой зависимости занимает промежуточное положение. При больших углах β отрыв пограничного слоя происходит аналогично поперечному обтеканию, при малых β отрыв отсутствует или носит пространственный характер.

В критическом диапазоне чисел Рейнольдса справедливость гипотезы разложения потока на две составляющие при обтекании круглого цилиндра экспериментами не подтверждается. В средней и кормовой частях цилиндра давление, рассчитанное по этой гипотезе, отличается от экспериментального вследствие взаимодействия продольного и поперечного обтекания цилиндра. Учитывая недостаточную изученность обтекания цилиндров в косом потоке при $Re>Re_{кр1}$, горизонтальную составляющую силового воздействия потока P_x следует определять по формуле (3.5), при этом значение коэффициента лобового сопротивления принимается равным

$$C_{xк} = C_x \frac{2\beta}{\pi}, \tag{3.9}$$

где $C_{xк}$ и C_x — коэффициенты лобового сопротивления трубопровода соответственно в косом потоке и при поперечном обтекании трубопровода; β — угол скольжения потока в радианах.

§ 3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА НА ТРУБОПРОВОДЫ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ В ПОДВОДНЫХ ТРАНШЕЯХ

В отличие от симметричного обтекания цилиндров, рассмотренного в § 3.3, силовое воздействие потока на подводные трубопроводы, расположенные в траншеях, является менее изученным.

Горизонтальная $P_{xт}$ и вертикальная $P_{yт}$ составляющие силового воздействия потока на единицу длины трубопровода, находящегося в подводных траншеях, определяются по формулам

$$P_{xт} = 0{,}5\, C_{xт}\, \rho\, v_{т.\,р}^2\, D; \tag{3.10}$$

$$P_{yт} = 0{,}5\, C_{yт}\, \rho\, v_{т.\,р}^2\, D, \tag{3.11}$$

где $C_{xт}$ и $C_{yт}$ — коэффициенты лобового сопротивления и подъ-