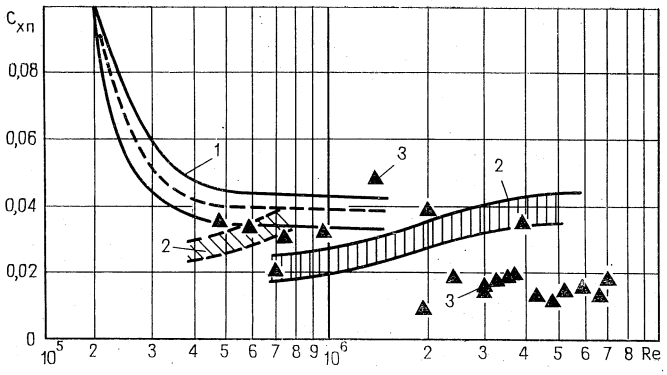


РИС. 5.4.
Зависимость коэффициента переменной силы лобового сопротивления $C_{xп}$ от числа Рейнольдса [35]:
1 — по Фунг; *2* — по Шмидту; *3* — по И. В. Г. ван Нунену

При колебаниях трубопровода значение переменных ПГС существенно зависит от амплитуды колебаний и числа Рейнольдса. С увеличением амплитуды колебаний трубопровода вихревой след становится упорядоченным, увеличивается интенсивность вихрей и корреляция их по длине трубы. Полная корреляция характеризуется синхронизацией колебаний вихревого следа и трубопровода, возникающей при амплитудах, равных примерно 0,15 диаметра трубы. При амплитудах колебаний менее 0,1 диаметра корреляция вихревого следа по длине трубы оказывает значительное влияние на эквивалентную силу, приходящуюся на единицу длины трубы, уменьшая ее с увеличением относительного удлинения l/D.

Коэффициент переменной ПГС $C_{уп}$ достигает максимального значения при амплитудах колебаний порядка 0,6 диаметра цилиндра [5], при дальнейшем увеличении амплитуды колебаний коэффициент $C_{уп}$ уменьшается и приближается к нулю. Уменьшение коэффициента $C_{уп}$ ограничивает максимальную амплитуду колебаний трубопровода.

Учитывая результаты опытов, приведенные в работах [5, 13], для практических расчетов при $\mathrm{Re}<\mathrm{Re}_{кр.1}$ примем коэффициент $C_{уп}$ для колеблющегося трубопровода в зависимости от амплитуды колебаний по формуле

$$C_{уп}=a\cos kt+b\frac{1}{kD}\frac{dy}{dt}+c\frac{1}{(kD)^3}\left(\frac{dy}{dt}\right)^3, \tag{5.4}$$

где постоянные a, b и c определяются аппроксимацией зависимости $C_{уп}$ от относительной амплитуды колебаний

$$C_{уп}=a+b\frac{y_0}{D}+c\left(\frac{y_0}{D}\right)^3; \tag{5.5}$$

$a=0{,}2;\ b=1{,}15;\ c=-0{,}9.$

При $\mathrm{Re}>\mathrm{Re}_{кр.1}$

$$C_{уп}=a_1\cos kt+b_1\frac{1}{kD}\cdot\frac{dy}{dt}+c_1\frac{1}{(kD)^3}\left(\frac{dy}{dt}\right)^3, \tag{5.6}$$

где $a_1=0{,}1;\ b_1=0{,}9;\ c_1=-0{,}7$.

Коэффициент $C_{уп}$ в выражениях (5.4) и (5.5) характеризует составляющую ПГС, действующую синфазно со скоростью колебаний трубопровода, что вполне очевидно, поскольку лишь эта составляющая ПГС в основном увеличивает энергию движения трубопровода. Возможно, что коэффициент $C_{уп}$ зависит от типа шероховатости поверхности трубопровода, а также от расположения трубопровода относительно дна и свободной поверхности потока, имеет более сложную зависимость от чисел Рейнольдса и Струхаля. Поскольку специальные эксперименты по исследованию этих зависимостей для коэффициента $C_{уп}$ не проводились, при ориентировочных практических расчетах следует пользоваться формулами (5.4) и (5.6).

§ 5.4. ИНЕРЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ ТРУБОПРОВОД ВОДЫ ПРИ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЯХ

При обтекании трубопровода потоком жидкости возникают не только гидродинамические силы, обусловливающие его колебания, окружающая трубопровод вода оказывает также инерционное и демпфирующее воздействие.

Инерционное влияние воды заключается в следующем. Окружающая колеблющийся трубопровод вода вовлекается в колебательное движение и оказывает дополнительное воздействие на колеблющуюся систему, т. е. к силам инерции колеблющегося трубопровода добавляется инерционное воздействие так называемой присоединенной массы жидкости. Обычно под присоединенной массой жидкости понимается отношение составляющей гидродинамического давления, действующей в одной фазе с силами инерции конструкции, к ускорению соответствующей точки этой конструкции.

В настоящее время вопросам определения присоединенной массы жидкости применительно к различным элементам гидротехнических сооружений посвящено большое число теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические исследования поперечных колебаний стержней в жидкости развиваются по двум направлениям. В первом направлении при решении данной задачи граничные условия для потенциала скорости