Если футеровочные реики расположены на поверхности трубопровода «вразбежку», то их влияние аналогично влиянию различного типа устройств на поверхности цилиндров в виде проволок или полос — ребер, располагаемых по спирали на боковой поверхности цилиндра. Применение таких устройств нарушает одновременность срыва вихрей по длине цилиндра, уменьшает ПГС, амплитуду колебаний и соответственно протяженность резонансной зоны или области захвата колебаний. Поэтому область захвата колебаний для футерованных трубопроводов будет меньшей по сравнению с гладким цилиндром. Бетонированная поверхность не оказывает стабилизирующего воздействия на срыв вихрей и ее влияние на область захвата колебаний должно быть незначительным.

Таким образом, можно приближенно установить, что область захвата колебаний для подводных трубопроводов при докритическом режиме обтекания ($Re<2\cdot10^5$) определяется частотой $Sh_c=0{,}18\div0{,}22$ и $Sh_c=0{,}4$, при критическом режиме обтекания ($Re=2\cdot10^5\div6\cdot10^6$) — частотой $Sh_c=0{,}1\div0{,}4$.

§ 5.3. ВЕЛИЧИНА ПЕРЕМЕННОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИЛЫ, ВЫЗЫВАЮЩАЯ КОЛЕБАНИЯ ТРУБОПРОВОДА

Гидродинамические силы, возникающие при обтекании трубопровода установившимся потоком, имеют переменные составляющие, обусловливаемые отрывом потока с его поверхности: горизонтальную — силу лобового сопротивления и поперечную силу, интенсивность которых определяется соответственно по формулам

$$P_{xп}=C_{xп}\rho\frac{v^2}{2}D, \qquad (5.2)$$

$$P_{уп}=C_{уп}\rho\frac{v^2}{2}D, \qquad (5.3)$$

где $C_{xп}$ и $C_{уп}$ — коэффициенты сопротивлений, зависящие от режима обтекания (числа Рейнольдса) и гидроупругих свойств подводного трубопровода.

Исследованию переменных гидродинамических сил, возникающих при обтекании цилиндра потоком жидкости, посвящено большое число теоретических и экспериментальных работ.

Рекомендуемые значения коэффициентов переменных гидродинамических сил $C_{уп}$ и $C_{xп}$ по данным многих исследователей весьма различны. Значительный разброс значений $C_{уп}$ и $C_{xп}$ объясняется сложным механизмом вихреобразования при обтекании круглых цилиндров при различных числах Рейнольдса, а также трудностью измерения ПГС.

Обобщая результаты исследований, выполненных авторами [10], а также другими исследователями, можно установить числовые значения коэффициентов переменных гидродинамических сил. Для неколеблющихся трубопроводов при $Re\leqslant Re_{кр.\,1}$ коэффициент поперечной ПГС $C_{уп}=0{,}2$, а коэффициент переменной силы лобового сопротивления $C_{xп}=0{,}1$.

Поскольку при $Re>Re_{кр.\,1}$ происходит нерегулярный срыв вихрей с поверхности цилиндра, то значения ПГС следует определять с помощью статистических характеристик этих сил. На рис. 5.3, и 5.4 приведены числовые значения коэффициентов $C_{уп}$ и $C_{xп}$, полученные различными исследователями при обтекании неколеблющихся цилиндров для широкого диапазона чисел Рейнольдса $Re>Re_{кр.\,1}$. Разброс значений коэффициента переменной поперечной силы $C_{уп}$ в диапазоне чисел $Re=3\cdot10^5\div6{,}5\cdot10^6$ (см. рис. 5.3) объясняется случайным процессом вихреобразования. При дальнейшем увеличении чисел Рейнольдса в диапазоне $Re=6{,}5\cdot10^6\div1{,}87\cdot10^7$ разброс $C_{уп}$ незначителен и объясняется квазипериодическим срывом вихрей. Значение коэффициента переменной силы лобового сопротивления $C_{xп}$ сравнительно постоянно и изменяется в меньшей степени (см. рис. 5.4).

РИС. 5.3. Зависимость коэффициента переменной поперечной силы $C_{уп}$ от Re: *1* — по Фунгу; *2* — по Луассо; *3* — по Шмидту; *4* — NASA; *5* — по Джоунсу; *6* — по И. В. Г. ван Нунену.

