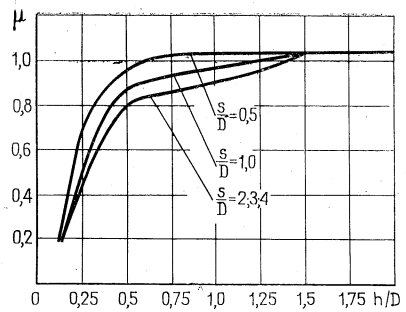


РИС. 5.5.
Зависимость коэффициента присоединенной массы μ от h/D и s/D

Присоединенную массу для жестких моделей цилиндров и для первой формы изгибных колебаний определяли по формуле

$$m_{\text{пр}} = m\left(\frac{\omega_0^2}{\omega^2} - 1\right), \qquad (5.8)$$

где m — масса модели цилиндра; ω и ω_0 — собственная частота колебаний цилиндра соответственно в воде и в воздухе.

Результаты экспериментов представлены на графике (рис. 5.5) зависимости коэффициента присоединенной массы μ (отношение присоединенной массы $m_{\text{пр}}$ к массе жидкости, заключенной в объеме цилиндра m_V, т. е. $\mu = m_{\text{пр}}/m_V$) от положения, занимаемого цилиндром относительно дна s/D и свободной поверхности h/D. Как видно из графика, коэффициент присоединенной массы повышается с уменьшением s/D и снижается с уменьшением h/D. При удалении цилиндра на расстояние около $3D$ и более от дна и свободной поверхности коэффициент присоединенной массы практически остается постоянным и не зависит от s/D и h/D. Снижение μ с уменьшением $h/D < 3D$ объясняется снижением инерционного воздействия окружающей трубопровод воды и появлением волновой составляющей гидродинамического давления, которая сдвинута относительно перемещения трубопровода по фазе на $\pi/2$ и играет роль «присоединенного трения».

При частичном погружении цилиндра в воду (например, в случае укладки трубопровода свободным погружением или расположении трубопровода на плаву) расчетная схема его соответствует балке на нелинейном упругом основании, и частоты колебаний трубопровода значительно уменьшаются вследствие влияния упругости основания.

Для расчетов колебаний подводных трубопроводов применительно к различным условиям практики величину присоединенной массы следует определять по формуле

$$m_{\text{пр}} = \mu m_v. \qquad (5.9)$$

Значение коэффициента присоединенной массы μ принимается в зависимости от расположения трубопровода относительно дна и свободной поверхности потока или траншеи по графикам рис. 5.5.

§ 5.5. РАССЕЯНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЯХ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Для оценки напряженного состояния колеблющегося подводного трубопровода необходимо установить величину и основные зависимости сил сопротивления (демпфирование, рассеяние энергии) при колебаниях. Рассеяние энергии при колебаниях подводных трубопроводов складывается из потерь на гидродинамические сопротивления, сопротивление в материале конструкции трубопровода (труба, изоляция, футеровка, бетонное покрытие, балластировка) и потерь в грунт через опоры. Гидродинамическое сопротивление, потери энергии в грунт через опоры, потери за счет трения футеровки и балласта о поверхность трубы будем относить, как это принято в теории колебаний, к внешним источникам рассеяния энергии в отличие от внутренних источников, к которым относится рассеяние энергии в материале трубы.

Внутреннее рассеяние является функцией напряжения и скорости деформации в материале трубопровода. Существуют различные гипотезы внутреннего трения при колебаниях упругих систем, некоторые из них хорошо совпадают с результатами экспериментов, но с математической точки зрения сложны и значительно затрудняют динамический расчет.

Гидродинамическое сопротивление при колебаниях включает рассеяние энергии на вихреобразование, сопротивление трения и волновое сопротивление.

Рассеяние энергии в грунт через опоры и вследствие трения футеровки и пригрузки по аналогии с классификацией, принятой в теории колебаний механических систем, можно отнести к конструкционным потерям. Величина и расчетные зависимости конструкционных потерь для подводных трубопроводов пока еще не изучены.

Учитывая сложность аналитической оценки сил сопротивления со всеми их составляющими, авторами проведены специальные исследования в натурных условиях по определению основных факторов, влияющих на сопротивление при колебаниях трубопроводов.

На основании результатов исследований колебаний надземных и подводных магистральных трубопроводов можно сделать вывод, что при значительной длине подводного участка трубопровода потери энергии в материале трубы, изоляции и футеровки, а также рассеяние энергии через опоры в грунт малы по сравнению с гидродинамическими потерями. Следовательно, в некоторых случаях при колебаниях подводных трубопроводов основными можно считать гидродинамические силы сопротивления.