Значительная трудность теоретического определения сил сопротивления при колебаниях подводных трубопроводов обусловливает необходимость их экспериментального исследования. Одним из проявлений рассеяния энергии является затухание колебаний, приводящее к изменению амплитуд. Закон погашения амплитуд свободных колебаний характеризует функцию сил сопротивления и может быть определен по развертке собственных затухающих колебаний.

Для определения сил сопротивления применительно к колебаниям подводных трубопроводов были выполнены эксперименты в условиях плоской и пространственной задач. Для случая плоской задачи использовали жесткие модели цилиндров диаметром $D=32$; 51; 100 мм и длиной $l=1000$ мм. Эти модели закреплялись на упругих подвесах и представляли собой колебательную систему с одной степенью свободы. Для случая пространственной задачи применяли модели цилиндров: $D=32/1$ мм, $l=4481$ мм; $D=33/2$ мм, $l=2894$ мм; $D=51/1{,}4$ мм, $l=3752$ мм, которые закреплялись шарнирно по концам и представляли собой колебательную систему с распределенными параметрами. Колебания цилиндров соответствовали первому тону. Силы сопротивления определяли по затуханию собственных колебаний. С помощью специального устройства цилиндры выводили из положения равновесия и они совершали собственные затухающие колебания. Частота и амплитуда колебаний измерялись тензорезисторами, наклеенными на упругие подвесы, и через усилитель ТА-5 регистрировались осциллографом Н-700.

В опытах наряду с силами гидродинамического сопротивления учитывались и силы сопротивления в элементах закреплений и упругих подвесах моделей. Декремент колебаний, характеризующий гидродинамические силы сопротивления $\delta_г$, определяли по формуле

$$\delta_г=\delta-\delta_1, \qquad (5.10)$$

где δ — декремент колебаний с учетом всех сил сопротивления (гидродинамические, конструкционные, в материале цилиндра); δ_1 — декремент колебаний, соответствующий конструкционным силам сопротивления и рассеянию энергии в материале цилиндра.

Значения δ определяли по колебаниям цилиндров в воде, δ_1 — по колебаниям тех же цилиндров в воздухе.

В формуле (5.10) δ и δ_1 соответствовали одинаковой амплитуде колебаний. В экспериментах имело место интенсивное затухание свободных колебаний цилиндров, поэтому декременты колебаний определяли по формуле

$$\delta=\frac{1}{a_i}\cdot\frac{da_i}{dn}=\frac{d(\ln a_i)}{dn},$$

где da_i/dn — интенсивность убывания амплитуды колебаний вдоль оси циклов n затухающих колебаний.

Результаты опытов показывают, что при отсутствии влияния дна и свободной поверхности декремент колебаний $\delta_г$ несущественно зависит от амплитуды колебаний, и поэтому в практических расчетах гидродинамические силы сопротивления при колебаниях можно считать линейно зависящими от скорости перемещения. Декремент колебаний $\delta_г$ значительно зависит от расположения трубопровода относительно свободной поверхности при $h/D<1{,}5$ (рис. 5.6). При изменении h/D от 1,5 до 0,15 $\delta_г$ возрастает от 0,1 до $0{,}62\div0{,}82$. Такое повышение $\delta_г$ объясняется увеличением волновой составляющей гидродинамического давления, которая сдвинута относительно перемещения трубопровода по фазе на $\pi/2$ и действует в одной фазе с силами гидродинамического сопротивления. Как показывают результаты экспериментов, с уменьшением $h/D<1{,}5$ возрастает влияние составляющих гидродинамического давления, эквивалентных силам сопротивления (увеличивается «присоединенное трение»), и уменьшается влияние составляющих гидродинамического давления, эквивалентных инерционному воздействию (уменьшается коэффициент присоединенной массы μ). С уменьшением относительного расстояния трубопровода от дна s/D до 0,5 отмечено незначительное уменьшение декремента колебаний $\delta_г$.

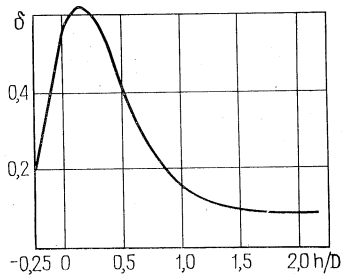


РИС. 5.6.
Зависимость декремента колебаний δ от h/D

При расположении трубопровода в подводной траншее величина $\delta_г$ зависит от крутизны откоса траншеи и относительной ширины траншеи по дну $b_т/D$.

Рассмотренные выше значения и зависимости для декрементов колебаний можно использовать в динамических расчетах подводных трубопроводов в случае, если гидродинамические силы сопротивления значительно превышают конструкционные. Величина декремента колебания δ, характеризующая суммарные силы сопротивления, может быть установлена на основании экспериментальных исследований в натурных условиях. Возможно, величина δ есть функция амплитуды колебаний.

От назначения величины суммарных сил сопротивления существенно зависят амплитуда колебания и динамические напряжения в трубопроводе. Кроме того, величина суммарных сил сопротивления позволяет установить возможность возник-