

РИС. 3.13.
Профиль и элементы волны:
1 — средняя волновая линия; *2* — гребень волны; *3* — ложбина волны; *4* — вершина волны; *5* — подошва волны; h — высота волны; λ — длина волны; $\eta_в$ — превышение вершины волны над расчетным уровнем; $\eta_п$ — понижение подошвы волны от расчетного уровня

траншеи (рис. 3.12, *а*); в некоторых случаях происходил выброс трубы из траншеи. При $D/h_т=0{,}4\div0{,}5$; $m=0\div0{,}5$; $b_т/h_т=0{,}25\div1$ цилиндры находились в циркуляционной области и при всех значениях средней скорости транзитного потока (10—110 см/с) выброс их из траншеи не наблюдался. Положение продольной оси цилиндров совпадало с центром циркуляции потока в траншее.

В траншеях с $m=1{,}7$ и $b_т/h_т=0{,}67$ цилиндры с $D/h_т=0{,}1\div0{,}7$ перемещались под действием потока в сторону верхового откоса, и с увеличением скорости потока происходил выброс трубы из траншеи (рис. 3.12, *б*).

Цилиндры нулевой и незначительной отрицательной плавучести ($D/h_т=0{,}1\div0{,}2$), помещенные в траншеи с параметрами $m\geqslant2{,}5$ и $b_т/h_т=0{,}67\div3$, с увеличением v перемещались в направлении низового откоса, а цилиндры с большей отрицательной плавучестью, но не достаточной для компенсации силового воздействия потока при заданных v — в направлении верхового откоса. В обоих случаях происходил выброс трубы из траншеи. Изменение направления усилий, действующих на трубопровод при различных скоростях транзитного потока, происходит за счет изменения размеров циркуляционной области.

Учитывая, что $C_{xт}$ и $C_{yт}$ незначительно отличаются от C_x и C_y, кроме указанных выше случаев, для практических расчетов числовые значения этих коэффициентов для трубопроводов, расположенных в подводных траншеях, можно принимать как и для трубопроводов, расположенных на дне и вблизи дна потока, т. е. $C_{yт}=0{,}6$, а $C_{xт}=\pm1{,}2$ при $\mathrm{Re}<10^5$ и $C_{xт}=\pm1$ при $\mathrm{Re}>10^5$.

§ 3.5. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВОЛН

Для расчета волнового воздействия на подводные трубопроводы необходимо установить основные элементы волны: высоту, длину и период. Схема простой двухмерной волны показана на рис. 3.13. Части волны, расположенные выше и ниже средней волновой линии *1*, называются соответственно гребнем *2* и ложбиной *3*. Средняя волновая линия пересекает запись волновых колебаний так, что суммарные площади выше и ниже этой линии одинаковы. Наивысшую точку гребня волны называют вершиной волны *4*, а наинизшую точку ложбины — подошвой волны *5*. Высотой волны h называется превышение вершины волны над соседней подошвой, длиной волны λ — горизонтальное расстояние между вершинами двух смежных гребней, периодом волны τ — интервал времени между прохождением двух смежных вершин волн через фиксированную вертикаль, скоростью волны C — скорость перемещения гребня волны в направлении ее распространения, фронтом волны — линия на плане взволнованной поверхности, проходящая по вершинам гребня данной волны, лучом волны — линия, перпендикулярная фронту волны в данной точке.

Волны, как правило, развиваются под действием ветра, это так называемые вынужденные волны. При увеличении скорости ветра двухмерные волны превращаются в трехмерные (пространственные) волны. Волны, вышедшие из зоны воздействия ветра (шторма) и вошедшие в зону области сравнительно малых скоростей ветра (штиль) и распространяющиеся после прекращения ветра, называются свободными волнами или зыбью. По мере удаления от раойна шторма высота зыби постепенно уменьшается, волновая зыбь может пройти расстояния до тысяч километров. В результате сложения вынужденных и свободных волн возникают смешанные волны.

При определении элементов волн на открытых и ограждающих акваториях необходимо учитывать следующие волнообразующие факторы: скорость ветра (ее величину и направление), продолжительность непрерывного действия ветра над водной поверхностью, размеры и конфигурацию охваченной ветром акватории, рельеф дна и глубину водоема с учетом колебаний уровня воды.

Расчетные уровни воды и характеристики ветра необходимо определять по результатам статистической обработки данных многолетних наблюдений в безледные сезоны, при этом расчетные уровни воды должны определяться с учетом приливно-отливных, сгонно-нагонных, сезонных и годовых колебаний уровней (см. СНиП II-57—75). Воздействие волн на подводные трубопроводы рассчитывают с учетом деления водоема на следующие зоны по глубине (рис. 3.14):

1) глубоководная — с глубиной $H>0{,}5\overline{\lambda}_{гл}$, где дно не влияет на основные характеристики волн ($\overline{\lambda}_{гл}$ — средняя длина глубоководной волны);

2) мелководная — с глубиной $0{,}5\overline{\lambda}_{гл}\geqslant H>H_{кр}$, где дно оказывает влияние на развитие волн и на основные их характеристики ($H_{кр}$ — критическая глубина воды, при которой происходит первое обрушение волн);

3) прибрежная — с глубиной $H<H_{кр}$.