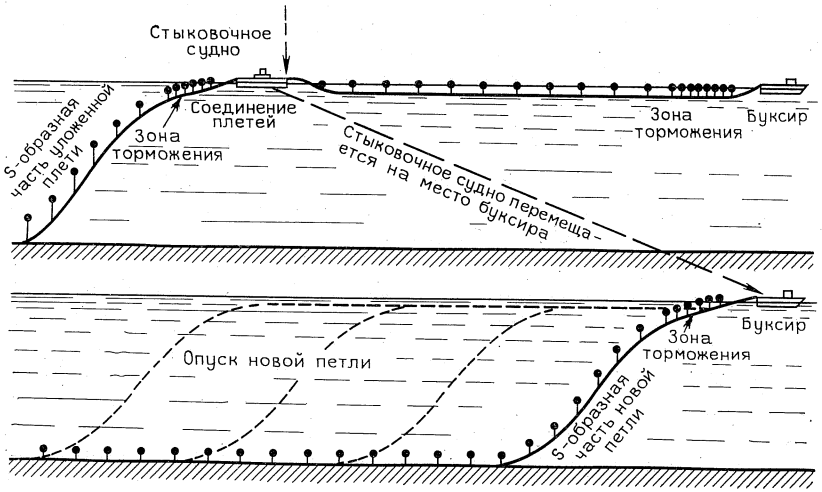


РИС. 12.29.
Схема укладки трубопровода по методу S-образной кривой

здесь h — глубина моря; $h+10$ — абсолютное давление газа в понтоне; $h-y+10$ — абсолютное давление на глубине погружения понтона $h-y$; ось y направлена вверх (начало координат расположено на дне моря).

Как уже отмечалось в § 12.10, при укладке глубоководных трубопроводов можно пренебречь изгибной жесткостью трубы. Располагая начало координат на дне моря, дифференциальное уравнение упругой линии трубопровода как гибкой нити с понтонами переменной плавучести для $0<y<h-h_0$ примет вид

$$\frac{Hy''}{\sqrt{1+(y')^2}} = p - V_1 \frac{h_0+10}{h-y+10}.$$

Первый интеграл этого уравнения

$$H\sqrt{1+(y')^2} = py + V_1(h_0+10)\ln(h-y+10) + C_1. \qquad (12.75)$$

Для определения значения произвольной постоянной C_1 можно использовать граничное условие: при $x=0$ $y'=0$, т. е. в точке касания с морским дном трубопровод горизонтален. Из этого условия

$$C_1 = H - V_1(h_0+10)\ln(h+10). \qquad (12.76)$$

Подставляя зависимость (12.76) в уравнение (12.75), получаем

$$H\left[\sqrt{1+(y')^2}-1\right] = py + V_1(h_0+10)\ln\frac{h-y+10}{h+10}. \qquad (12.77)$$

При $y=h-h_0$ уравнение (12.77) примет вид

$$H\left[\sqrt{1+(y')^2}-1\right] = p(h-h_0) + V_1(h_0+10)\ln\frac{h_0+10}{h+10}. \qquad (12.78)$$

Для верхнего участка S-образной кривой $h-h_0 \leqslant y \leqslant h$ дифференциальное уравнение упругой линии трубопровода будет

$$\frac{Hy''}{\sqrt{1+(y')^2}} = V_1 - p. \qquad (12.79)$$

После интегрирования уравнения (12.79) и использования граничного условия при $x=L$ $y=h$ и $y'=0$ получаем

$$H\left[\sqrt{1+(y')^2}-1\right] = (V_1-p)(h-y). \qquad (12.80)$$

При $y=h-h_0$ уравнение (12.80) примет вид

$$H\left[\sqrt{1+(y')^2}-1\right] = (V_1-p)h_0. \qquad (12.81)$$

Приравнивая правые части уравнений (12.78) и (12.81), получаем для равновесного состояния погружаемого трубопровода

$$V_1 = \frac{ph}{h_0 + (h_0+10)\ln\frac{h+10}{h_0+10}}. \qquad (12.82)$$

Изменение натяжения гибкой нити на поверхности воды H_h и на дне H_0 равно сумме проекций распределенных нагрузок на вертикальную ось:

$$H_h - H_0 \int_0^h p(y)\,dy = \int_0^{h-h_0} \left(p - V_1\frac{h_0+10}{h-y+10}\right)dy +$$

$$+ \int_{h-h_0}^{h} (p-V_1)\,dy = p(h-h_0) + V_1(h_0+10)\ln\frac{h_0+10}{h+10} +$$

$$+ (p-V_1)h_0 = ph - V_1\left[h_0 + (h_0+10)\ln\frac{h+10}{h_0+10}\right]. \qquad (12.83)$$

При равновесном состоянии правая часть выражения (12.83) равна нулю и, следовательно, получаем значение V_1, соответствующее зависимости (12.82).

Если вместимость понтонов $V_п$ (объем воздуха в понтонах, отнесенный к единице длины трубопровода) меньше V_1, то трубопровод погружается; если $V_п \geqslant V_1$ — трубопровод плавает.

К концу укладки очередной плети трубопровода для прекращения ее погружения и соединения со следующей плетью необходимо выполнить условие $V_п \geqslant V_1$. Это достигается оснащением трубопровода дополнительными «тормозными» понтонами.