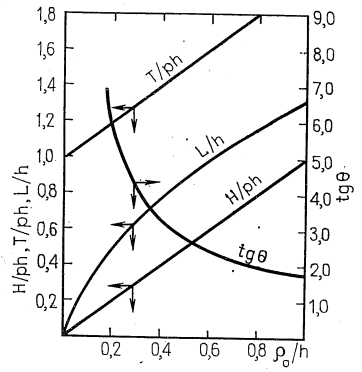



РИС. 12.28.
Графики безразмерных параметров для расчета трубопровода по схеме гибкой нити

или, учитывая зависимость (12.66), имеем

$$\frac{T}{ph}=1+\frac{\rho_0}{h}. \qquad (12.71)$$

Принимая в уравнении (12.63) $y=h$ и учитывая выражение (12.66), получаем тангенс угла наклона трубопровода на поверхности воды

$$\operatorname{tg}\theta=\operatorname{sh}\frac{L}{\rho_0}=\frac{h}{\rho_0}\sqrt{1+2\frac{\rho_0}{h}}, \qquad (12.72)$$

где $L$ — проекция длины провисающего участка трубопровода на ось $x$.

Из формулы (12.72) следует, что

$$\frac{L}{\rho_0}=\operatorname{arc\,sh}\left(\frac{h}{\rho_0}\sqrt{1+2\frac{\rho_0}{h}}\right), \qquad (12.73)$$

или, выполняя преобразования, получаем

$$\frac{L}{h}=\frac{\rho_0}{h}\ln\left[1+\frac{h}{\rho_0}\left(1+\sqrt{1+\frac{2\rho_0}{h}}\right)\right]. \qquad (12.74)$$

Основные расчетные параметры укладки глубоководного трубопровода по схеме гибкой нити определяются по приведенным выше формулам или по графикам зависимостей безразмерных параметров $T/ph$, $H/ph$, $L/h$, $\operatorname{tg}\theta$ от $\rho_0/h$ (рис. 12.28).

Следует отметить, что максимальная кривизна гибкой нити соответствует точке ее касания с морским дном [формулы (12.65) или (12.61)], в действительности же вследствие жесткости трубопровода максимальная кривизна соответствует точке трубопровода, расположенной на некотором расстоянии от дна. Такое несоответствие может быть устранено смещением начала координат гибкой нити аналогично, как это было сделано в формулах (12.49) и (12.50).

**Пример.** Определить параметры укладки трубопровода по схеме гибкой нити для следующих исходных данных: глубина $h=300$ м; диаметр трубопровода 273×11 мм; $p=0{,}2$ кгс/см² $\rho_0=150$ м.

Для $\rho_0/h=150/300=0{,}5$ находим по графикам рис. 12.28 или по формулам (12.66), (12.71), (12.72) и (12.74) значения безразмерных параметров $H/ph=0{,}5$; $T/ph=1{,}5$; $\operatorname{tg}\theta=2{,}828$; $L/h=0{,}881$.

Соответствующие размерные величины равны
$H=0{,}5ph=0{,}5\cdot 0{,}2\cdot 30\,000=3000$ кгс; $T=1{,}5\cdot 0{,}2\cdot 30\,000=9000$ кгс; $L=0{,}881\cdot 300=264{,}3$ м; $\theta=70°32'$.



Максимальные напряжения (без учета внешнего гидростатического давления) от изгиба трубопровода и растяжения $H$ составляют

$$\sigma=\frac{ED_н}{2\rho_0}+\frac{H}{F}=\frac{2{,}1\cdot 10^6\cdot 27{,}3}{2\cdot 15\,000}+\frac{3000}{90{,}5}=1944 \text{ кгс/см}^2.$$

## § 12.11. РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ УКЛАДКЕ ТРУБОПРОВОДОВ С ПОНТОНАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ПЛАВУЧЕСТИ

Этот метод целесообразно использовать при укладке трубопроводов на большие глубины, когда применение трубоукладочных барж становится затруднительным вследствие невозможности их заякоривания для удержания трубопровода. Основные работы при укладке трубопровода по методу $S$-образной кривой выполняются в следующем порядке:

на береговой сварочной базе трубы сваривают в секции, которые затем опускают на воду и соединяют в плети длиной до 3 км;

плети буксируют к месту укладки и присоединяют к поддерживаемому на поверхности воды верхнему концу ранее уложенного трубопровода;

плети соединяют на судне, оборудованном специальной системой стабилизации, обеспечивающей неизменное заданное положение его при воздействии ветра и течения;

в погружаемом трубопроводе для регулирования радиуса его кривизны в заданных пределах создается натяжение с помощью буксира.

Схема процесса укладки трубопровода показана на рис. 12.29.

Придание трубопроводу в процессе укладки формы $S$-образной кривой обеспечивает плавное сопряжение его с морским дном и с присоединяемой плетью на поверхности воды. Для создания $S$-образной кривой необходимо, чтобы нижний участок трубопровода, обращенный вогнутостью вверх, имел отрицательную плавучесть, а верхний, обращенный вогнутостью вниз,— положительную плавучесть. Это достигается оснащением трубопровода специальными понтонами с переменной плавучестью (см. § 9.8).

Если обозначить давление газа (в метрах водяного столба) в понтоне через $h_0$, нагрузку от массы 1 м трубопровода через $p$ и объем воздуха в расчете на 1 м трубопровода через $V_1$, то плавучесть единицы длины трубопровода $p(y)$ примет следующие значения:

для глубин

$h-h_0\leqslant y\leqslant h \quad p(y)=p-V_1$

и $0\leqslant y\leqslant h-h_0 \quad p(y)=p-V_1\dfrac{h_0+10}{h-y+10}$,