

РИС. 11.11.
Схема расположения прямолинейного трубопровода на плаву

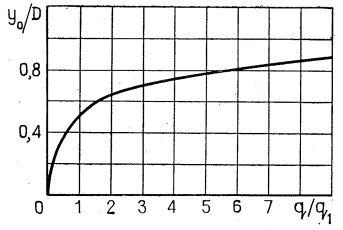


РИС. 11.12.
График зависимости $\frac{y_0}{D}$ от $\frac{q}{q_1}$

коэффициента k примем его усредненное значение равным $k_{ср}$

$$k_{ср}=\frac{q}{y_0}, \tag{11.8}$$

где y_0— расстояние от верха трубы до уровня воды при расположении прямолинейного трубопровода на плаву (см. рис. 11.11).

Значение y_0 можно определить по графику (рис. 11.12) в зависимости от величины безразмерного отношения веса единицы длины трубы в воздухе q_1 и интенсивности нагрузки q.

Расположим начало координат в точке выхода трубопровода на свободную поверхность воды и направим оси, как показано на рис. 11.8, *в*. Тогда для полубесконечной балки на линейном упругом основании, загруженной на конце сосредоточенной силой Q_0 и изгибающим моментом M_0, значения прогиба и его производных будут

$$y(x)=\frac{1}{2\beta^2 EI}e^{-\beta x}\left[\left(\frac{Q_0}{\beta}-M_0\right)\cos\beta x-M_0\sin\beta x\right];$$

$$y^{I}(x)=\frac{1}{\beta EI}e^{-\beta x}\left[\left(M_0-\frac{Q_0}{2\beta}\right)\cos\beta x-\frac{Q_0}{2\beta}\sin\beta x\right];$$

$$y^{II}(x)=\frac{1}{EI}e^{-\beta x}\left[\left(-M_0+\frac{Q_0}{\beta}\right)\sin\beta x-M_0\cos\beta x\right];$$

$$y^{III}(x)=\frac{1}{EI}e^{-\beta x}\left[(2\beta M_0-Q_0)\sin\beta x+Q_0\cos\beta x\right],$$

где $$\beta=\sqrt[4]{\frac{q}{4y_0EI}}.$$

Учитывая, что при $x=0$ $y=-y_0$ и $k_{ср}y_0=q$, получаем значения начальных параметров в виде

$$EIy_0^{I}=\frac{Q_0}{2\beta^2}+\frac{q}{2\beta^3};$$

$$M_0=\frac{Q_0}{\beta}+\frac{q}{2\beta^2}. \tag{11.10}$$

Рассмотрим полностью погруженный участок трубопровода длиной c. Принимая во внимание направление координатных осей для этого участка (см. рис. 11.8, *в*) и учитывая граничные условия $y_c^{I}=0$ и $y_c^{II}=0$, получаем методом начальных параметров следующие выражения для угла поворота и изгибающего момента:

$$-EIy_0^{I}-M_0c-\frac{Q_0c^2}{2}+\frac{qc^3}{6}-\frac{\omega a^3}{6}=0; \tag{11.11}$$

$$-M_0-Q_0c+\frac{qc^2}{2}-\frac{\omega a^2}{2}=0. \tag{11.12}$$

Решая совместно уравнения (11.10)—(11.12) и переходя к безразмерным параметрам, получаем

$$2\bar{a}^3-3(\bar{c}+1)\bar{a}^2+m\left[(\bar{c}+1)^3+2\right]=0, \tag{11.13}$$

где $\bar{a}=\beta a$; $\bar{c}=\beta c$; $m=q/\omega$.

Используя условие равенства нулю третьей производной упругой оси для первого, второго и третьего участков трубопровода, получаем значения координат с максимальными изгибающими моментами на каждом участке. После подстановки этих координат в уравнения изгибающих моментов, получим значения безразмерных максимальных напряжений на первом участке $\bar{\sigma}_a$, на втором участке $\bar{\sigma}_b$ и на третьем частично погруженном участке трубопровода $\bar{\sigma}_п$:

$$\bar{\sigma}_a=\frac{2\beta^2\sigma_a W}{\omega}=\frac{1}{1-m}\left(\bar{a}-m\bar{c}+\bar{Q}_0\right)^2;$$

$$\bar{\sigma}_b=\frac{2\beta^2\sigma_b W}{\omega}=-\left(\frac{1}{m}\bar{Q}_0^2+2\bar{Q}_0+m\right); \tag{11.14}$$

$$\bar{\sigma}_п=\frac{2\beta^2\sigma_п W}{\omega}=\sqrt{m^2+2m\bar{Q}_0+2\bar{Q}_0^2}\,e^{-\operatorname{arctg}\frac{-\bar{Q}_0}{m+\bar{Q}_0}},$$

где σ_a, σ_b, $\sigma_п$ — максимальные напряжения на первом, втором и третьем участках трубопровода; $\bar{Q}_0=Q_0\beta/\omega$ — безразмерная поперечная сила.

Величина $\bar{Q}_0$ определяется из выражений (11.10) и (11.12)

$$\bar{Q}_0=\frac{m}{2}(\bar{c}-1)-\frac{\bar{a}^2}{2(\bar{c}+1)}. \tag{11.15}$$