4. *Укладка с применением поддерживающих устройств в виде лебедок или кранов.* При строительстве и ремонте подводных трубопроводов через крупные водные преграды (реки, водохранилища, морские акватории и т. д.) в некоторых случаях целесообразно выполнять укладку и подъем трубопровода с применением поддерживающих устройств в виде лебедок или кранов, установленных на плавучих опорах, специальных судах или непосредственно на льду водной преграды.

Число и грузоподъемность поддерживающих устройств зависят от параметров конструкции трубопровода и глубины водной преграды. С увеличением глубины укладки или высоты подъема трубопровода возрастают напряжения от его изгиба. Поэтому подъем или погружение трубопровода необходимо осуществлять таким образом, чтобы максимальные напряжения не превышали расчетное сопротивление материала трубы и число подъемных механизмов должно быть возможно минимальным.

Расчетная схема такого трубопровода представляется как многопролетная неразрезная равнопрочная балка (рис. 11.28), т. е. максимальные напряжения в опасных сечениях равны и не превышают расчетное сопротивление материала трубы.

Уравнение упругой оси трубопровода по методу начальных параметров примет вид:

$$EIy = R\frac{x^3}{6} - p\frac{x^4}{24} + Q\frac{(x-a)^3}{6} + Q\frac{(x-a-b)^3}{6} + \\ + Q\frac{(x-a-2b)^3}{6} + \cdots + Q\frac{(x-a-nb)^3}{6} - (q_1-p)\frac{(x-L)^4}{24} + \\ + Q_c\frac{(x-L)^3}{6}, \qquad (11.94)$$

где $EI$ — изгибная жесткость трубы; $R$ — реакция в точке касания трубы с грунтом; $p$ — интенсивность нагрузки от массы трубы в воде; $q_1$ — интенсивность нагрузки от массы трубы в воздухе; $Q$, $Q_c$ — усилия в тросах поддерживающих устройств (рис. 11.28, *а*); $n_b$ — число пролетов длиной $b$.

Уравнение (11.94) представим в безразмерном виде

$$\bar{y} = \frac{1}{6}\cdot\frac{kR}{\omega_1}(kx)^3 - \frac{1}{24}\cdot\frac{p}{\omega_1}(kx)^4 + \frac{1}{6}\cdot\frac{kQ}{\omega_1}(kx-ka)^3 + \\ + \frac{1}{6}\cdot\frac{kQ}{\omega_1}(kx-ka-kb)^3 + \ldots + \frac{1}{6}\cdot\frac{kQ}{\omega_1}(kx-ka-n_bkb) - \\ - \frac{1}{24}\cdot\frac{q_1-p}{\omega_1}(kx-kL)^4 + \frac{1}{6}\cdot\frac{kQ_c}{\omega_1}(kx-kL)^3, \qquad (11.95)$$

где $\bar{y} = k^4yEI/\omega_1$ — безразмерная ордината; $\omega_1 = p + q_1$; $k$ — коэффициент, имеющий размерность 1/см и определяемый из условия



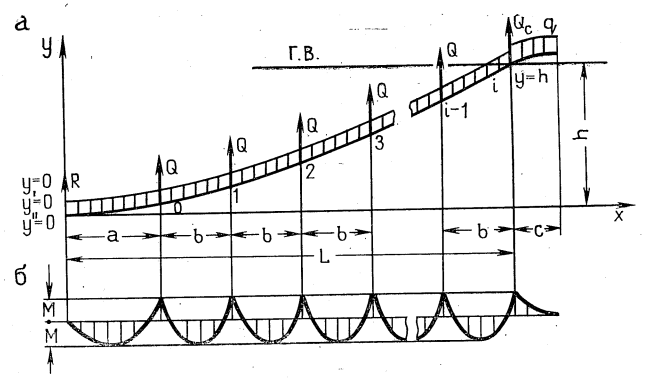



РИС. 11.28.
Расчетная схема подъема (погружения) подводного трубопровода с применением поддерживающих устройств (*а*) и эпюра изгибающих моментов (*б*)

$$\frac{kR}{\omega_1} = 1. \qquad (11.96)$$

Приравняв нулю третью производную уравнения (11.95) для пролета *а*, найдем расстояние до сечения с максимальным изгибающим моментом:

$$kx = \frac{\frac{kR}{\omega_1}}{\frac{p}{\omega}}. \qquad (11.97)$$

Учитывая зависимость (11.96), получаем $kx = \omega_1/p$.

Тогда, используя выражение (11.97) и вторую производную уравнения (11.95) для участка *а*, получаем

значение безразмерного максимального напряжения

$$\bar{\sigma}_{max} = \frac{k^2\sigma_{max}W}{\omega_1} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\left(\frac{kR}{\omega_1}\right)^2}{\frac{p}{\omega_1}} = \frac{\omega_1}{2p},$$

где $\sigma_{max}$ — максимальное допустимое напряжение в трубопроводе, при отсутствии других силовых воздействий, например от волн и течений, $\sigma_{max}$ принимается равным расчетному сопротивлению материала трубы $\sigma_p$; $W$ — осевой момент сопротивления сечения трубы,

и значение реакции $R$

$$R = \sqrt{2\sigma_{max}pW}. \qquad (11.98)$$