Для ориентировочных расчетов глубины погружения и напряжений, возникающих при укладке трубопроводов с натяжением, можно использовать графики зависимостей безразмерной глубины укладки $\bar{h}$ трубопровода и безразмерного напряжения $\bar{\sigma}$ от nc и $m=q/\omega$, представленных на рис. 11.23 и 11.24. Эти графики соответствуют нулевым граничным условиям для изгибающего момента и угла поворота в точке выхода трубопровода на поверхность воды.

Безразмерные зависимости для угла поворота и изгибающего момента с учетом их нулевых значений в точке выхода трубопровода из воды имеют вид

$$\frac{nR_1}{\omega}\operatorname{sh} nc-\frac{p}{\omega}(\operatorname{ch} nc-1)+\operatorname{ch} nb-1=0; \qquad (11.80)$$

$$\frac{nR_1}{\omega}(\operatorname{ch} nc-1)-\frac{p}{\omega}(\operatorname{sh} nc-nc)+(\operatorname{sh} nb-nb)=0.$$

Используя условие равновесия для погруженного участка трубопровода, получаем безразмерную глубину укладки

$$\bar{h}=\frac{n^2hH}{\omega}=\frac{1}{2}\left[nc\left(\frac{p}{\omega}nc-2\frac{nR_1}{\omega}\right)-(nb)^2\right]. \qquad (11.81)$$

Безразмерные значения максимальных напряжений с учетом выражения (11.74) представляются в следующем виде:

$$\bar{\sigma}=\frac{n^2\sigma_{max}W}{\omega}=\frac{p}{\omega}-\sqrt{\left(\frac{p}{\omega}\right)^2-\left(\frac{nR_1}{\omega}\right)^2}, \qquad (11.82)$$

где σ_{max}—максимальное напряжение от изгиба трубопровода за вычетом напряжения от растяжения (продольной силы H); R_1 — реакция в точке касания трубопровода и дна реки. Из решений уравнений (11.81)—(11.82) получены графики зависимостей $\bar{\sigma}=f(nc, m)$ и $\bar{h}=f(nc, m)$.

По графику зависимости $\bar{\sigma}=f(nc, m)$ для заданного σ при $m>0{,}5$ (см. рис. 11.24) получаются значения nc и nb, а при $m<0{,}5$ — значения nc и na.

Расчет напряженного состояния подводного трубопровода при заданной глубине укладки h проводится в следующем порядке:

1) определяют безразмерную глубину укладки трубопровода по известным n, H, h и ω

$$\bar{h}=\frac{n^2hH}{\omega};$$

2) по графику зависимости $\bar{h}=f(nc, m)$ (см. рис. 11.23) и вычисленным значениям $\bar{h}$ и m находят nc (при необходимости определяют na или nb);

3) по графику зависимости $\bar{\sigma}=f(nc, m)$ (см. рис. 11.24) и полученным значениям nc и m определяют $\bar{\sigma}$;

4) определяют максимальное напряжение при укладке трубопровода

$$\sigma_{max}=\frac{\bar{\sigma}\omega}{n^2H}.$$

Расчет допустимой глубины укладки трубопровода проводится в обратном порядке:

1) вычисляют безразмерное напряжение

$$\bar{\sigma}=\frac{n^2\sigma_{max}W}{\omega};$$

2) по графику зависимости $\bar{\sigma}=f(nc, m)$ (см. рис. 11.24) и вычисленным значениям $\bar{\sigma}$ и m находят nc;

3) по графику зависимости $\bar{h}=f(nc, m)$ (см. рис. 11.23) и значениям nc и m определяют $\bar{h}$;

РИС. 11.23.

График зависимости безразмерной глубины $\bar{h}$ от $m=\frac{q}{\omega}$:

а — при $nc=2\div5$; *б* — при $nc=5\div9{,}4$

