В период укладки способом свободного погружения трубопровод может занимать ряд последовательных положений (рис. 11.7), каждому из которых соответствует своя расчетная схема. В начальной стадии погружения трубопровод испытывает консольный изгиб (позиция *1*), в промежуточной стадии трубопровод принимает форму S-образной кривой (позиция *2*), затем плавающий участок трубопровода открывается от поверхности воды (позиция *3*), и, наконец, в завершающей стадии погружения он принимает форму параболы с выпуклостью, обращенной вниз (позиция *4*).

Рассмотрим расчетную схему, соответствующую промежуточной стадии укладки трубопровода с S-образной кривой. При заливе водой (отстропке понтонов) на участке *a* трубопровод, изгибаясь в вертикальной плоскости, погружается на дно (рис. 11.8). При этом участок трубопровода *a* получает отрицательную плавучесть (направленную вниз равномерно распределенную нагрузку интенсивностью p), участок *b*, не залитый водой или оснащенный понтонами, имеет положительную плавучесть (направленную вверх распределенную нагрузку интенсивностью q). Максимальная глубина погружения трубопровода h ограничивается допускаемыми напряжениями от его изгиба.

1. Расчет укладки трубопровода с учетом нулевых граничных условий в точке его выхода на поверхность воды.

Во многих литературных источниках приводится расчетная схема укладки трубопровода как для однопролетной балки с нулевыми граничными условиями на обоих концах для угла поворота и изгибающего момента (рис. 11.8, *б*), т. е. при $x=0$ $y_0^{\mathrm{I}}=y_0^{\mathrm{II}}=0$ и при $x=c$ $y_c^{\mathrm{I}}=y_c^{\mathrm{II}}=0$. Подробные расчеты напряженного состояния трубопровода в такой постановке приводятся, например, в работе [18], а основные расчетные параметры имеют следующие зависимости.

Наибольшие значения изгибающих моментов для участков *a* и *b* определяются по формулам

$$M_a=\sqrt{\frac{3hEI\omega}{2}}\,\psi_a; \qquad (11.1)$$

$$M_b=\sqrt{\frac{3hEI\omega}{2}}\,\psi_b, \qquad (11.1')$$

где EI — изгибная жесткость трубы; $\omega=p+q$; ψ_a и ψ_b — безразмерные функции, зависящие от p/q, определяются по графику рис. 11.9.

Длина участка *a*, имеющего отрицательную плавучесть,

$$a=\sqrt{\frac{6hEI}{\omega\,(n-0{,}5)^2-0{,}25n^4q}}, \qquad (11.2)$$

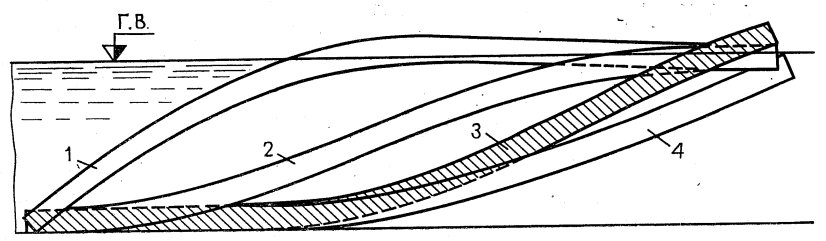


РИС. 11.7.
Стадии погружения трубопровода

РИС. 11.8.
Расчетная схема погружаемого трубопровода:
а — схема погружения; *б* — нулевые граничные условия на обоих концах трубопровода; *в* — ненулевые граничные условия для конца трубопровода, находящегося на поверхности воды

