методом последовательных приближений при меньшем значении $\bar{\sigma}_b$, равном $\bar{\sigma}_{b1}$. Определяют $\bar{c}_1$ и $\bar{a}_1$ по формулам (11.24) и (11.25); вычисляют $\bar{\sigma}_{п1}$ по формуле (11.27), подставляя $\bar{a}=\bar{a}_1$ и $\bar{c}=\bar{c}_1$. Расчет заканчивается, если $\bar{\sigma}_{п1}$ незначительно отличается от $\bar{\sigma}_b$.

Пример 1. Определить допустимую глубину укладки трубопровода по схеме консольного изгиба для параметров трубопровода, приведенных в примере на стр. 266.

Для $\bar{\sigma}_b=0{,}981$ и $m=0{,}739$ по формулам (11.24) и (11.25) определяем значения $\bar{c}=2{,}407$ и $\bar{a}=1{,}667$. По формуле (11.21) находим $\bar{Q}_0=0{,}1118$; поскольку $\bar{Q}_0>0$, то $\bar{\sigma}_в>\bar{\sigma}_п$.

Определяем по формуле (11.26) для $\bar{c}=2{,}407$ и $\bar{a}=1{,}667$ значение $\bar{h}=10{,}642$.

Значения допустимой глубины погружения $h_в$ и длины участков a и c составляют: $h_в=y_0h+D=8{,}16$ м; $a=\bar{a}/\beta=41{,}76$ м; $c=\bar{c}/\beta=60{,}31$ м.

Следует отметить, что допустимая глубина погружения по схеме консольного изгиба получается меньшей по сравнению с изгибом по схеме S-образной кривой. Для данного примера эта разница равна 2,32 м.

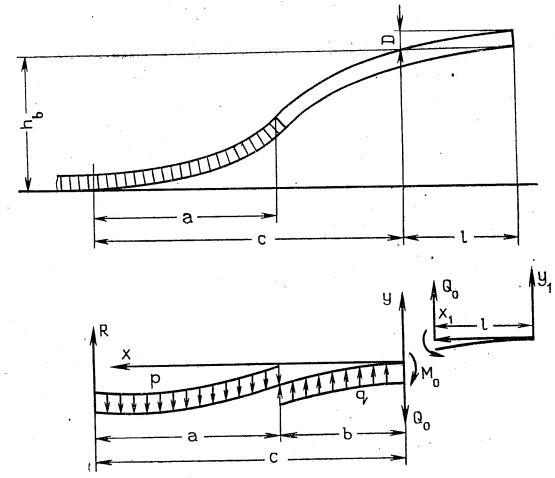
2. Конечный этап погружения.

В процессе погружения трубопровода за консольным изгибом или изгибом по S-образной кривой следует конечный этап погружения. На конечном этапе погружения длина участка трубопровода, находящегося на плаву, уменьшается, и трубопровод несколько приподнимается. В зависимости от параметров трубопровода и глубины водоема в некоторых случаях дальнейшая укладка может сопровождаться отрывом плавающего участка трубопровода (см. рис. 11.7). Затем длина приподнятого участка трубопровода по мере залива воды (перемещения нагрузки с отрицательной плавучестью) уменьшается, и в завершающей стадии погружения становится равной нулю (рис. 11.7). При этом в трубопроводе происходит перераспределение напряжения. Аналогичный процесс, но в обратном порядке, происходит при подъеме трубопровода.

1. Рассмотрим сначала случай, при котором возникает отрыв конца трубопровода от поверхности воды. Расчетную схему участка трубопровода, находящегося на плаву, можно представить как балку на упругом основании конечной длины l. Расположим начало координат на конце плавающего участка (рис. 11.17). Принимая во внимание, что при $x=0$ перемещение y, изгибающий момент и поперечная сила равны нулю, а при $x=l$ $y=-D$, получим по методу начальных параметров следующие выражения:

$$EIy_l^{I}=-\frac{q_1}{\beta^3}\left(\frac{n_1k_0}{4}-k_3\right); \tag{11.28}$$

РИС. 11.17.
Расчетная схема плавающего участка трубопровода при отрыве его конца от поверхности воды



$$EIy_l^{II}=\frac{q_1}{\beta^2}(n_1k_3-k_2); \tag{11.29}$$

$$EIy_l^{III}=\frac{q_1}{\beta}(n_1k_2-k_1), \tag{11.30}$$

где $n_1=\frac{1}{k_1}\left(k_0+\frac{q}{q_1}\right)$; k_0, k_1, k_2 и k_3 — функции А. Н. Крылова при $x=l$, значения которых равны:

$$k_0=\operatorname{ch}\beta l\cos\beta l; \tag{11.31}$$

$$k_1=\frac{1}{2}(\operatorname{ch}\beta l\sin\beta l+\operatorname{sh}\beta l\cos\beta l); \tag{11.32}$$

$$k_2=\frac{1}{2}\operatorname{sh}\beta l\sin\beta l; \tag{11.33}$$

$$k_3=\frac{1}{4}(\operatorname{ch}\beta l\sin\beta l-\operatorname{sh}\beta l\cos\beta l). \tag{11.34}$$

Эти функции табулированы и их значения приводятся в справочниках.

Максимальный изгибающий момент на участке трубопровода b, погруженном в воду и имеющем положительную плавучесть q, равен

$$\sigma_bW=-M_l-\frac{Q_l^2}{2q}. \tag{11.35}$$