где

$$\psi_1(x)=\bar{\psi}_1(x)+\frac{D}{2};$$

$$\psi(x)=\bar{\psi}_1(x)-\frac{D}{2}-t;$$

$\psi(x)$ — предельная граница размыва дна и берегов реки; t — минимально допустимое заглубление трубопровода от предельного профиля до его верха; $\bar{\psi}_1(x)$ — граница возможной глубины разработки траншеи земснарядами; D — диаметр трубопровода;

2) условие, обеспечивающее прочность трубопровода при изгибе,

$$|y^{II}(x)|\leqslant\frac{1}{\rho(x)}, \tag{6.5}$$

где $\rho(x)$ — допустимый радиус упругого изгиба трубопровода, является функцией его длины, поскольку возможны конструктивные решения, использующие кривые вставки;

3) условие, обеспечивающее прилегание трубопроводов ко дну траншеи и учитывающее максимально возможный вес в воде единицы длины трубопровода с балластом,

$$|y^{IV}(x)|\leqslant\frac{q_{max}(x)}{EI}, \tag{6.6}$$

где в общем случае $q_{max}(x)$ — функция длины, поскольку для упругого искривления кривых вставок трубопровода балласт не назначается.

Тогда в точном виде задача формулируется следующим образом: найти $y(x)$, реализующее минимум S_0 при условии соблюдения ограничений (6.1)—(6.3).

Составляющие целевой функции S_0 имеют следующий вид: стоимость земляных работ

$$S_{з.р}=\int_0^l\left\{\left[C_1^*(x)+C_1^{**}(x)\right]\left\{r(x)\left[\varphi_0(x)-y(x)+\frac{D}{2}\right]+\left[\varphi_0(x)-y(x)+\frac{D}{2}\right]^2\operatorname{tg}\alpha(x)\right\}-\frac{\pi D^2}{4}C_1^{**}(x)\right\}dx, \tag{6.7}$$

где $C_1^*(x)$ и $C_1^{**}(x)$ — стоимость соответственно разработки и засыпки единицы объема грунта; $r(x)$ — ширина траншеи по дну; $\operatorname{tg}\alpha(x)$ — величина заложения откосов траншеи (рис. 6.5);

стоимость дополнительной пригрузки

$$S_{пр}=C_2\int_0^l Б(x)\,dx, \tag{6.8}$$

где C_2 — стоимость единицы веса балласта; $Б(x)$ — интенсивность нагрузки от балласта

$$Б(x)=k\left[q_а+q_{верт}(x)+\frac{1}{f}q_г(x)+EI\,|y^{IV}(x)|+Hy^{II}(x)\right]-q_т, \tag{6.9}$$

где k — коэффициент запаса устойчивости; $q_а$ — Архимедова сила единицы длины трубопровода; $q_{верт}(x)$ и $q_г(x)$ — интенсивность вертикальной и горизонтальной составляющих гидродинамического воздействия потока; f — коэффициент трения трубопровода о грунт; $q_т$ — вес в воздухе единицы длины конструкции трубопровода с учетом изоляции, футеровки, продукта, заполняющего трубопровод; H — продольное усилие в трубопроводе; стоимость трубопровода

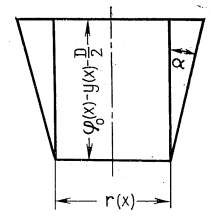


РИС. 6.5. Параметры подводной траншеи

$$S_т=C_3\int_0^l\sqrt{1+[y^I(x)]^2}\,dx, \tag{6.10}$$

где C_3 — стоимость единицы длины трубопровода.

Если известна стоимость устройства кривой вставки C_4 и их число m на интервале $[0, l]$, то стоимость кривых вставок $S_в$ будет

$$S_в=C_4m. \tag{6.11}$$

Применяя упрощения, допускаемые практикой, формулировку задачи можно представить в следующем виде:

найти

$$\min_y S_0^r(y) \tag{6.12}$$

при условии выполнения ограничений

$$\psi_1(x)\leqslant y(x)\leqslant\psi(x);$$

$$|y^{II}(x)|\leqslant\frac{1}{\rho(x)};$$

$$|y^{IV}(x)|\leqslant\frac{q_{max}}{EI}. \tag{6.13}$$

Для решения поставленной задачи необходимо перейти к дискретной форме. Интервал $[0, l]$ разбивают с шагом $h=l/N$ на N равных частей. Все функции, рассматриваемые в задаче, заменяют кусочно-линейными с известными в узловых точках значениями. Неизвестную функцию $y(x)$ определяют в виде таблицы значений в узловых точках. Используя разностные аппроксимации вторых и четвертых производных, а также фор-