где $P_{x\,р}$ — горизонтальная суммарная расчетная составляющая силового воздействия волн и течения; $P_{z\,р}$ — вертикальная составляющая от тех же воздействий. Они определяются по формулам (3.25) и (3.26). Остальные составляющие те же, что и в формуле (4.34). Следует иметь в виду, что при укладке трубопровода с заглублением или с защитой от волн и течений $P_{x\,р}$ и $P_{z\,р}$ не учитываются.

Для пояснения методики расчета устойчивости подводного трубопровода приведем пример расчета устойчивости на сдвиг и всплытие газопровода, расположенного на дне моря. Диаметр газопровода $D=529$ мм, с учетом изоляции $D_{из}=532$ мм, вес труб в воздухе $Q=0{,}2$ тс/м; ориентировочно принимаем наружный диаметр бетонного покрытия $D_б=720$ мм; коэффициент трения по грунту $f_{тр}=0{,}45$. План трассы газопровода показан на рис. 4.3. Скорость донного течения $v_{дон}=0{,}5$ м/с, направление течения перпендикулярно оси газопровода ($\beta_т=90°$); объемный вес морской воды $\gamma_в=1{,}03$ тс/м³. Элементы волн в глубоководной зоне: $\bar{\lambda}_{гл}=100$ м, $\bar{\tau}=8$ с, $h_{1\%}=6$ м, $h_{5\%}=5$ м.

На плане акватории участка трассы трубопровода строится план рефракции (см. § 3.5) для определения угла подхода волн к трассе трубопровода $\beta_в$ в мелководной зоне и коэффициента рефракции $k_р$. Построение плана рефракции начинается с глубины $H=\bar{\lambda}_{гл}/2=100/2=50$ м. Лучи *I* и *II* волн располагают возможно ближе к расчетному участку газопровода (рис. 4.4). Точки пересечения лучей с промежуточными изобатами (на плане показаны штриховыми линиями) являются поворотными точками волновых лучей. В этих точках вычисляют углы $\alpha_{р\,i}$ между направлением исходного луча и перпендикуляром к промежуточной изобате. Определяют отношения глубин на предыдущей и последующей изобатах к исходной длине волны $\bar{\lambda}_{гл}$ и по номограмме (см. рис. 3.18). Определяют углы поворота каждого луча $\Delta\alpha_{р\,i}$. Откладывая значение $\Delta\alpha_{р\,i}$ от направления исходного луча в сторону меньших глубин, находят направление рефрагированного луча. Результаты расчета сведены в табл. 4.5 и представлены на рис. 4.3.

Далее трассу газопровода разбивают на ряд участков (рис. 4.3, *б*), для каждого участка определяют углы подхода к оси газопровода $\varphi_{в\,i}$ и расчетные значения элементов волн 5%-ной обеспеченности. Приведем последовательность вычисления элементов волн и нагрузок на трубопровод для четвертого участка.

Средняя расчетная глубина моря

$$H_4=\frac{20+15}{2}=17{,}5\text{ м}.$$

Для определения расчетной высоты волны вычисляем коэффициенты, входящие в формулу (3.14). По графику (см.

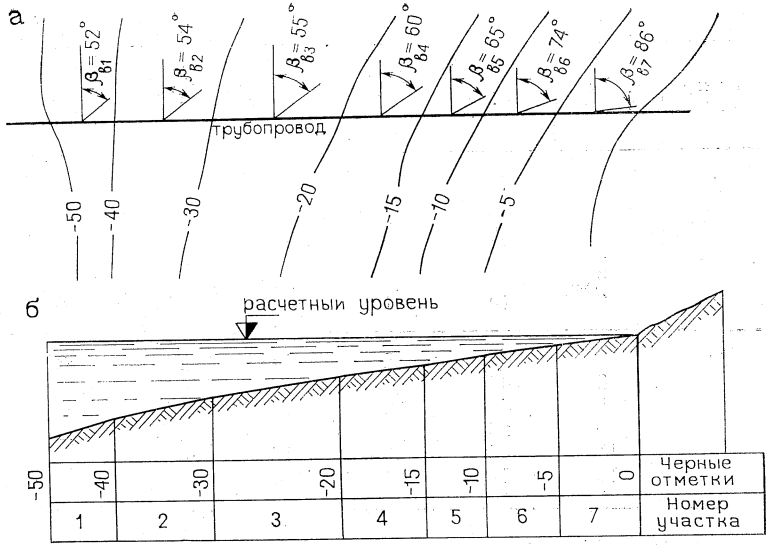


РИС. 4.3.
Расчетная схема к определению составляющих силового воздействия на трубопровод

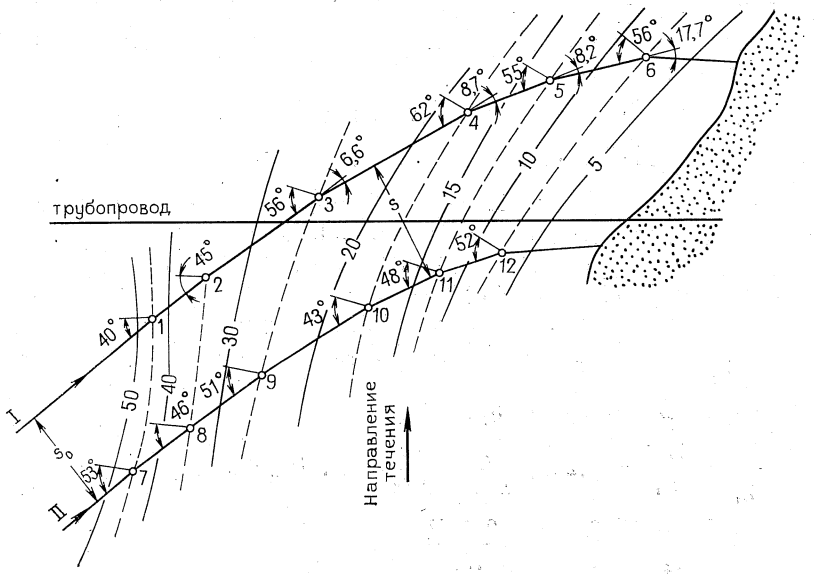


РИС. 4.4.
Схема распространения фронта волн и план трассы газопровода