Вес продукта, заполняющего трубопровод:
газа

$$q_г = 215\,\gamma_г\,\frac{P\,D_{вн}}{z\,T}, \qquad (4.7)$$

где $\gamma_г$ — объемный вес газа при нормальных условиях; p — внутреннее давление; z — коэффициент сжимаемости газа; T — абсолютная температура;

нефти и нефтепродуктов

$$q_н = \rho_н g\frac{\pi D^2_{вн}}{4}, \qquad (4.8)$$

где $\gamma_н$ — объемный вес нефти и нефтепродукта; $D_{вн}$ — внутренний диаметр труб;

температурные воздействия (напряжения)

$$\sigma_t = \pm\alpha_t E\Delta t, \qquad (4.9)$$

где σ_t — продольные напряжения в стенке труб, защемленных в грунте; E — модуль упругости; Δt — температурный перепад между рассматриваемой температурой t и температурой t_0, при которой трубопровод фиксируется в грунте.

Вертикальная и горизонтальная составляющие гидродинамического и волнового давления воды определяются в соответствии с рекомендациями § 3.3, 3.4 и 3.6.

3. Усилия и напряжения в трубопроводе от внутреннего давления и температуры.

Прямолинейный участок трубопровода.

Если трубопровод не может перемещаться в продольном направлении, то кольцевые напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{кц} = \frac{p\,D_{вн}}{2\,\delta}, \qquad (4.10)$$

а продольные

$$\sigma_{пр} = \frac{0{,}15p\,D_{вн}}{\delta} \pm \alpha_t E\Delta t, \qquad (4.11)$$

где δ — толщина стенки трубы.

В формуле (4.11) — знак «плюс» при $\Delta t<0$, а «минус» — при $\Delta t>0$ (положительными приняты растягивающие напряжения).

На концевых участках трубопровода, а также в местах крутых поворотов в плане или в вертикальной плоскости в сечениях I—I (рис. 4.1) кольцевые напряжения определяются по формуле (4.10), а продольные

$$\sigma_{пр} = \frac{p\,D_{вн}}{4\delta}. \qquad (4.12)$$

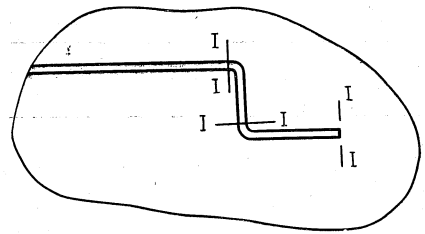


РИС. 4.1.
Схема к определению усилий в трубопроводе

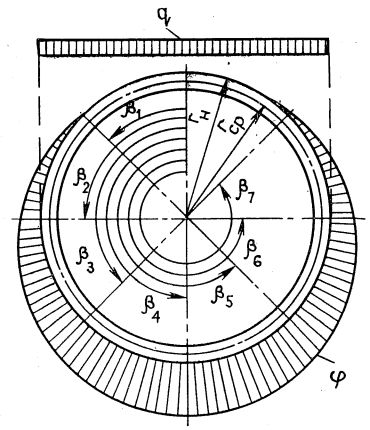


РИС. 4.2.
Схема нагрузки на подземный трубопровод

Во всех остальных сечениях $\sigma_{пр}$ изменяются в зависимости от степени защемления трубопровода грунтом [6]. Но в любом случае предельные значения $\sigma_{пр}$ определяются по формуле (4.11), а кольцевые — по (4.10).

Криволинейный участок трубопровода.

На упругоискривленных участках в трубопроводе возникает изгибающий момент, который обусловливает в трубах дополнительные продольные напряжения

$$\sigma_{пр} = \frac{E\,D_н}{2R}, \qquad (4.13)$$

где R — радиус кривизны оси трубопровода.

Таким образом, с учетом (4.11) продольные напряжения будут

$$\sigma_{пр} = \frac{0{,}15p\,D_{вн}}{\delta} \pm \alpha_t E\Delta t + \frac{E\,D_н}{2R}; \qquad (4.14)$$

4. Усилия и напряжения в трубопроводе от внешнего давления грунта и воды.

Давление грунта.

Изгибающие моменты M и кольцевые усилия в стенке труб в плоскости кольцевого разреза (рис. 4.2)

$$M_{кц} = q_{гр}\,r_н\,r_{ср}[A_1 a + B_1 + C_1 n_1(1+a)];$$
$$N_{кц} = q_{гр}\,r_н\,[D_1 a + E_1 + F_1 n_1(1+a)], \qquad (4.15)$$

где $a=2-r_н/r_{ср}$; $r_н$ — наружный и $r_{ср}$ — средний радиусы трубы; A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, F_1 — коэффициенты, принимаемые по табл. 4.1.