ТАБЛИЦА 4.1

β	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1
0	0,1628	0,0872	—0,0070	0,2122	—0,2122	0,021
$\frac{\pi}{4}$	—0,025	0,025	—0,00084	0,15	0,35	0,0148
$\frac{\pi}{2}$	—0,125	—0,125	0,00825	0	1	0,00575
$\frac{3}{4}\pi$	0,025	—0,025	0,00022	—0,15	0,9	0,0138
π	0,0872	0,1628	—0,00837	—0,2122	0,7122	0,224

Если учесть, что в стальных трубопроводах можно принять $r_н \approx r_{ср}$, поскольку толщина стенки мала, то формулы (4.15) получат вид

$$M_{кц} = q_{гр} r_н^2 (A_1 + B_1 + C_1 n_1); \quad (4.16)$$

$$N_{кц} = q_{гр} r_н (D_1 + E_1 + F_1 n_1). \quad (4.17)$$

Величина

$$n_1 = \frac{1}{0{,}064 + \frac{EI}{r_{ср}^4 k_0}}, \quad (4.18)$$

где I — момент инерции сечения трубы; k_0 — коэффициент упругого отпора грунта (коэффициент постели при сжатии). Формулы (4.16) и (4.17) получены в предположении равномерного распределения давления грунта. При деформации трубы со стороны грунта в пределах окружности от β_1 до β_7 на трубу действует упругий отпор (рис. 4.2) $\varphi(\beta) = kw(\beta)$, где $w(\beta)$ — перемещение стенки трубы от нагрузки q. Если отпор не учитывать, то нужно принять $n_1 = 0$. Определив для различных точек кольцевого сечения M и N, легко найти и соответствующие им напряжения.

Давление воды.

Изгибающий момент $M_{кц}$ и кольцевая сила $N_{кц}$ определяются по формулам

$$M_{кц} = -(A_2 + n_1 B_2)\gamma_в r_н^3; \quad (4.19)$$

$$N_{кц} = -(C_2 + n_1 D_2)\gamma_в r_н^2 + \gamma_в h_в r_н, \quad (4.20)$$

где $\gamma_в$ — удельный вес воды; $h_в$ — высота столба воды над верх-

ТАБЛИЦА 4.2

β	A_2	B_2	C_2	D_2
0	0,1724	—0,0109	—0,5838	0,0329
$\frac{\pi}{4}$	0,0167	—0,0013	—0,4277	0,0233
$\frac{\pi}{2}$	—0,1964	0,0129	—0,2146	0,009
$\frac{3}{4}\pi$	—0,0168	0,00036	—0,3941	0,0216
π	0,2203	—0,0131	—0,6312	0,0351

ней образующей трубы; A_2, C_2, B_2 и D_2 — коэффициенты, принимаемые по табл. 4.2.

Если не учитывать деформации стенки трубы и упругий отпор грунта, т. е. если принять $k_0 = 0$, то в формулах (4.19) и и (4.20) нужно принять $n_1 = 0$. Такому условию отвечает трубопровод, лежащий на дне водоема без заглубления. Кольцевые напряжения в стенке трубы можно найти также и по формуле

$$\sigma_{кц} = -\frac{h_в D_н \gamma_в}{2\delta}, \quad (4.21)$$

где δ — толщина стенки труб.

Знак «минус» означает, что напряжение в стенке труб сжимающее.

5. Расчет толщины стенки трубопровода.

Особенность расчета толщины стенки подводных трубопроводов.

Как известно, толщина стенки δ магистральных трубопроводов определяется по формуле

$$\delta = \frac{n p D_{вн}}{2\sigma_{кц}}, \quad (4.22)$$

где n — коэффициент перегрузки, p — внутреннее давление, $\sigma_{кц}$ — действующее кольцевое напряжение, принимаемое равным так называемому расчетному сопротивлению материала трубы

$$R_1 = \frac{\sigma_{вр} m}{k_1 k_н} \text{ или } R_2 = \frac{\sigma_т m}{k_2 k_н}. \quad (4.23)$$

Здесь m — коэффициент условий работы, k_1, k_2 — коэффициенты безопасности и $k_н$ — надежности, назначаются в зависимости от характеристик материала, диаметра труб и внутреннего