зывает опыт, выявляются все дефекты труб и устраняются еще до укладки их под воду. Эксплуатация трубопровода после этого при давлении на 60% меньше испытательного будет осуществляться при высоком уровне надежности. Кроме того, в отличие от существующих правил, расчет по испытательному давлению позволяет знать истинный запас несущей способности труб, что дает возможность регулировать внутреннее давление в довольно широких пределах.

Приведем пример расчета, приняв, как и в предыдущем примере $D_{ср}=100$ см, $h_в=7{,}5\cdot10^3$ см, $\gamma_в=0{,}001$ кгс/см^3 и, кроме того, $p_{экс}=55$ кгс/см^2, $\bar{\sigma}_т=3600$ кгс/см^2, $\delta_1=0{,}05$ см. По формуле (4.26) $\delta=1{,}29$ см; по формуле (4.28) $p_{раб}=46$ кгс/см^2; по формуле (4.27) $\delta=\frac{1{,}6\cdot46\cdot102}{2(3600+1{,}6\cdot46)}+0{,}05=1{,}07$ см. Как видно, при принятых условиях толщину стенки следует назначать не по внутреннему давлению, а по внешнему, т. е. принимаем $\delta=1{,}3$ см.

Поскольку учет внешнего давления оказывается очень существенным, то расчет толщины стенки труб необходимо выполнять с учетом изменения глубины погружения.

8. Учет продольных напряжений.

Толщина стенки труб по формулам (4.26) и (4.27) определяется без учета продольных напряжений $\sigma_{пр}$. Для их учета на прямых участках трассы можно воспользоваться известной формулой

$$\sigma_{экв}=\sqrt{\sigma_{кц}^2+\sigma_{пр}^2-\sigma_{кц}\sigma_{пр}}. \qquad (4.29)$$

Принимая $\sigma_{пр}$ по выражению (4.11), а $\sigma_{экв}=\bar{\sigma}_т$, после необходимых преобразований получаем из формулы (4.29) для толщины стенки труб

$$\delta=\frac{n\,p_{исп}\,D_н}{2\left[-0{,}253\,\alpha_t E\,\Delta t+\sqrt{1{,}265\bar{\sigma}_т^2-1{,}2\,\alpha_т^2 E^2\,\Delta t^2}+np_{исп}\right]}. \qquad (4.30)$$

Для упругоискривленных участков $\sigma_{пр}$ следует принимать по формуле (4.14). Выполнив аналогичные преобразования, получим выражение для расчета толщины стенки с учетом упругого изгиба.

§ 4.2. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЧНЫХ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Под устойчивым состоянием подводного трубопровода понимается такое состояние, при котором он будет находиться в покое в заранее заданном (проектном) положении при самой неблагоприятной комбинации нагрузок, стремящихся вывести его из этого положения.

Такими нагрузками являются: выталкивающая Архимедова сила; горизонтальная и вертикальная составляющие гидродинамического воздействия потока; силы упругости трубопровода; сжимающее или растягивающее продольные силы, возникающие при протаскивании трубопровода, а также вследствие изменения его температурного режима или давления перекачиваемого продукта. Для компенсации этих сил и воздействий используется собственная масса трубопровода и заполняющего его продукта, а также пригрузка утяжеляющими грузами или закрепление с помощью анкерных устройств.

Самое неблагоприятное сочетание нагрузок имеет место, когда трубопровод не заглублен, т. е. находится на дне водоема. В других случаях, например, когда трубопровод уложен в подводную траншею и засыпан грунтом, число нагрузок, снижающих запас устойчивости, соответственно уменьшается. В общем случае условие устойчивости единицы длины трубопровода имеет вид

$$P_x\cdot k_{у.с}\leqslant(Б+Q-A-P_y-q_и-q_н)f_{тр}, \qquad (4.31)$$

где P_x — горизонтальная сдвигающая сила: $k_{у.с}$ — коэффициент запаса устойчивости на сдвиг, принимаемый равным 1,1 при $D\leqslant600$ мм и 1,15 при $D>600$ мм; $Б$ — вес балласта в воде; Q — вес труб с учетом изоляции, футеровки и продукта, заполняющего трубу; A — выталкивающая сила; $P_у$ — вертикальная составляющая силового воздействия потока; $q_и$ — взвешивающее усилие, обусловленное изгибом трубопровода в вертикальной плоскости; $q_н$ — взвешивающее усилие, обусловленное искривлением трубопровода в вертикальной плоскости вогнутостью вниз; $f_{тр}$ — коэффициент трения поверхности трубы о грунт.

Значения P_x и P_y получают в соответствии с рекомендациями § 3.3 и 3.4 [формулы (3.5), (3.6) и (3.10), (3.11)]. Остальные составляющие определяют следующим образом:

расчетное значение выталкивающей силы

$$A=n_1A_0,$$

где $A_0=\gamma_в V$ ($\gamma_в$ — объемный вес воды, V — объем вытесненной полностью снаряженным трубопроводом воды, определенный по геометрическим размерам); n_1 — коэффициент перегрузки выталкивающей силы, принимаемый по табл. 4.3;

вес труб и конструкций

$$Q=n_2Q_0, \qquad (4.32)$$

где n_2 — коэффициент перегрузки по весу трубопровода и конструкции (табл. 4.4); Q_0 — вес трубопровода со всеми конструкциями и заполняющим его продуктом, определяемый взвешиванием трубопровода в воздухе и воде или расчетным путем. При определении Q_0 можно найти и A. Следует отметить, что