повышении или понижении внутреннего давления и быть причиной так называемой малоцикловой усталости.

Испытательное давление создает в трубах такие напряжения, при которых разрушение труб или их соединений, имеющих различного рода дефекты, достигает высокой степени вероятности.

Внешнее давление воды может привести к разрушению труб в результате потери устойчивости их круговой формы.

Изгиб труб наблюдается в случае образования промоин грунта под трубопроводом; эти же участки при определенных условиях (см. гл. 5) начинают колебаться. Оба эти фактора обусловливают возникновение дополнительных изгибных усилий.

Механические воздействия весьма многообразны как при строительстве, так и при эксплуатации. Результатом их могут быть различного рода царапины, задиры, вмятины и т. п., что приводит к существенному снижению несущей способности трубопровода в целом. При наличии таких дефектов даже значительный запас несущей способности трубопровода не исключает их разрыва в дефектных участках труб. Из числа этих факторов в качестве основных можно выделить рабочее и испытательное давления, оказывающие наиболее существенное влияние на толщину стенки трубопровода. Влияние остальных факторов сказывается лишь при определенном образом складывающихся обстоятельствах. Как правило, эти обстоятельства возникают либо в предаварийных ситуациях, либо при нарушении технологии строительства или эксплуатации. Конечно, необходимо создавать некоторый запас несущей способности труб для компенсации усилий, обусловленных дополнительными факторами. Однако нельзя считать правильным стремление в некоторых случаях полностью компенсировать металлургические или строительные дефекты увеличением толщины стенки труб. Это приведет лишь к неоправданному расходу металла. Дефекты должны выявляться в процессе испытания трубопровода в целом или отдельных его участков и обязательно ликвидироваться.

2. Нагрузки и воздействия на подводные трубопроводы.

К нагрузкам относятся внутреннее давление в трубопроводе, внешнее давление воды, грунта, каменных набросок и бетонных креплений, собственный вес (сила тяжести) труб.

К воздействиям относятся предварительное (до приложения основной рабочей нагрузки — внутреннего давления) напряжение трубопровода, изменение температуры труб, просадка основания, силовое воздействие волн и течений на оголенные участки труб.

Каждая из перечисленных нагрузок характеризуется нормативным и расчетным значениями. Под нормативной понимается нагрузка $N_н$, определяемая на основании среднестатистических

данных. Возможные отклонения нагрузки от нормативного в сторону увеличения учитывают коэффициентом перегрузки n и в расчетные формулы вводят расчетное значение нагрузки

$$N_р = n N_н. \tag{4.1}$$

Значения коэффициента перегрузки n в зависимости от вида нагрузки следующие:

Собственный вес труб и конструкций	1,1
Внутреннее давление:	
для газопроводов	1,1
для нефтепроводов и нефтепродуктопроводов	1,15
Давление окружающей трубопровод воды:	
среднее гидростатическое	1,0
с учетом повышения уровня воды за счет волн	1,2
выталкивающая сила воды	1,1
Давление грунта	1,4
Давление каменных набросок	1,2
Давление бетонных защитных покрытий	1,1
Обледенение труб под водой при транспорте продуктов с отрицательной температурой	1,4
Сейсмические воздействия	1,1

Нагрузки определяются по следующим формулам:

собственный вес труб [1]

$$q_{тр} = q_0 n, \tag{4.2}$$

где q_0 — вес единицы длины труб с приходящимся на единицу длины весом конструкций (изоляция, утяжеляющие конструкции и т. п.);

внутреннее давление продукта

$$p = n p_0, \tag{4.3}$$

где p_0 — номинальное значение внутреннего давления (рабочее или испытательное);

давление грунта на трубопровод

$$q_{гр} = n q_{0\,гр}, \tag{4.4}$$

где $q_{0гр}$ — давление грунта, определяемое по формулам механики грунтов для конкретных конструкций [6];

давление воды

$$q_в = \gamma_в h_в n, \tag{4.5}$$

где $\gamma_в$ — объемный вес воды; $h_в$ — высота столба воды над рассматриваемой точкой;

выталкивающая сила воды

$$q_{в.\,в} = 0{,}8\,\gamma_в D_н^2 n, \tag{4.6}$$

где $D_н$ — наружный диаметр труб.

[1] Основные весовые и геометрические характеристики подводных трубопроводов приведены в приложении.