

УДК 693.54

В.О.ПОВГОРОДНИЙ, канд. техн. наук

Институт проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАН Украины, г.Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРОДСКОГО ВОДОПРОВОДА

Рассматривается современное состояние стальных водопроводов в России и Украине и расчет показателя долговечности (срока службы).

Пункт 10.1 СНиП 2.04.01-85 “Внутренний водопровод и канализация зданий” гласит: “Для всех сетей внутреннего водопровода *допускается* применять медные, бронзовые и латунные трубы и фасонные изделия, а также стальные трубы и элементы с внутренним и наружным защитным покрытием от коррозии”.

Таким образом, на практике строительные организации продолжают возводить здания, ориентируясь в основном на стальные трубы. Зачастую нарушается технология монтажа: вместо резьбовых соединений используют сварку, что приводит к нарушению защитного слоя и провоцирует коррозионные разрушения труб.

Данная проблема рассматривалась в работах [1-4]. Чаще других в строительстве применяют стальные трубы не только для транспортировки воды и газа, но и как элементы строительных конструкций. Для локальных сетей используют стальные водогазопроводные трубы с диаметром условного прохода от 6 до 150 мм. Выпускаются три типа труб: *легкие* (рассчитанные на давление до 0,6 МПа), *средние* (0,6...1 МПа) и *тяжелые* (давление более 1 МПа). Одним из существенных недостатков стальных труб является их большой вес. Например, труба с условным проходом 15 мм (1/2”) весит 1,25 кг/м.

Стальные трубы могут быть обычными (черными), но более эффективны оцинкованные. Монтаж сетей из стальных труб осуществляется на резьбе и с помощью сварки. Сварка понижает коррозионную стойкость, в особенности оцинкованных труб, так как в месте сварки цинк окисляется и испаряется (температура кипения цинка 906 °С), поэтому места стыка корродируют очень быстро. Монтаж системы довольно трудоемок; после длительной эксплуатации разобрать систему трудно, а порой просто невозможно.

Положительным свойством стальных труб является низкий температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) – он в 5-10 раз ниже, чем у полимеров, кроме того, они непроницаемы для кислорода и ультрафиолетового излучения.

Из-за высокой теплопроводности стали стальные трубы при открытой прокладке в отапливаемых помещениях при транспортировании по ним холодной воды могут “отпотевать”. По той же причине стальные трубы при прокладке в грунте могут замерзнуть, что приводит к их разрушению: они расходятся по шву или лопаются.

Рассчитаем вероятность неразрушения водопровода диаметром $d = 15 \pm 0,3$ мм, имеющего номинальную толщину стенки $h_{\text{ном}} = 4,0$ мм, выполненного из стали X18H10T и нагруженного внутренним избыточным давлением $S = 3 \cdot 10^7$ н/м² с допуском $\pm 15\%$.

Исходные данные при нормальном законе распределения допусков на геометрические размеры и внутреннее избыточное давление: $d = 15 \pm 0,3$ мм; σ_B – предел прочности; $h_{\text{ном}} = 4,0$ мм; h – толщина стенки; $S = 3 \cdot 10^7$ н/м² $\pm 15\%$, S – нагрузка (напряжение или внутреннее избыточное давление).

Материал водопроводных труб – сталь X18H10T, основные показатели которой приведены в табл.1.

Таблица 1 – Основные показатели марки стали X18H10T

Свойства	Сталь X18H10T
Плотность, г/см ³	7,8
ТКЛР, мм/м·К	0,012
Теплопроводность, Вт/м·К	74
Рабочая температура, °С / рабочее давление, МПа	20 – 200/65

Из правила «3-х сигм»:

$$\sigma_d = \frac{\Delta d}{3} = \frac{0,3}{3} = 0,1 \text{ мм};$$

$$\sigma_S = \frac{\Delta S}{3} = \frac{3 \cdot 10^7 \cdot 0,15}{3} = 0,15 \cdot 10^7 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2.$$

В качестве математических ожиданий диаметра d и давления S примем номинальные значения этих параметров. Из табл.9, 10 приложения [4] находим: $m_d = 15$ мм; $m_S = 63,73 \cdot 9,81 \cdot 10^6$ н/м²; $m_h = 4,0$ мм.

Коэффициенты вариации:

$$\left. \begin{aligned} A_d &= \frac{\sigma_d}{m_d} = \frac{0,1}{15} = 0,0067 = 0,67 \% ; \\ A_S &= \frac{\sigma_S}{m_S} = 5,65 \% ; \\ A_h &= \frac{\sigma_h}{m_h} = 3,38 \% . \end{aligned} \right\} \text{ по табл. и прил. 9,10 [4].}$$

Поскольку нагрузкой является рабочее давление (нормальное напряжение), принимаем в качестве несущей способности R разрушающее давление (разрушающее максимальное напряжение – нормальное), которое, как известно, из теории безмоментных оболочек, в данном случае определяется выражением:

$$R = \frac{2 \cdot \sigma_e \cdot h}{d}.$$

Подставляя в него математические ожидания возмущающих параметров, находим математическое ожидание несущей способности:

$$m_R = \frac{2 \cdot m_S \cdot m_h}{m_d} = \frac{2 \cdot 63,73 \cdot 4,0}{15} \cdot 9,81 \cdot 10^6 = 3,334 \cdot 10^7 \text{ н/м}^2.$$

Зависимость несущей способности от возмущающих параметров,

приведенная выше, имеет вид $Z = \prod_{i=1}^R X_i^{\alpha_i}$. Поэтому, согласно зави-

симости $A_R = \sqrt{\sum_{i=1}^R \alpha_i^2 \cdot A X_i}$, коэффициент вариации несущей способности

$$A_R = \sqrt{A_S^2 + A_h^2 + A_d^2} = \sqrt{(5,65)^2 + (3,38)^2 + (0,67)^2} \approx 6,62 \%$$

и

$$\sigma_R = A_R \cdot m_R = 0,0662 \cdot 3,85 \cdot 10^7 \approx 0,254 \cdot 10^7 \text{ н/м}^2 \approx 2,39 \text{ МПа.}$$

В данном случае диаметр можно считать неслучайной величиной, так как его относительный разброс существенно меньше разброса предела прочности и толщины.

По зависимости (20) и табл.3 [4] с учетом того, что $R_{RS} = 0$, вероятность неразрушения, а другими словами, прочностная надежность P_{np} равна:

$$P_{np} = \Phi \left(\frac{m_R - m_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \right) = \Phi \left(\frac{(3,85 - 3,0) \cdot 10^7}{\sqrt{(0,239)^2 + (0,15)^2 \cdot 10^7}} \right) = \Phi(3,01).$$

По табл.3 приложения [4] $P_{np} = \Phi(3,01) = 0,998690$ или аппроксимация по [4].

Если система невосстанавливаемая и произошел отказ (образовалась трещина – течь), то наработка до первого отказа (средний ресурс) согласно экспоненциальному закону определяется по формуле

$$T = -\frac{t}{\ln(1 - P_{np})}.$$

С учетом того, что срок службы городского водопровода составляет 50 лет, согласно вышеприведенной зависимости средний ресурс составляет 7,5 лет. В плане долговечности стальные трубы предпочтительнее полимерных. К недостаткам полимерных труб следует отнести зависимость их прочности (предельного рабочего давления) и долговечности (срока службы) от температуры (табл.2), а также невысокие предельные рабочие температуры (как правило, не выше 95 °С).

Таблица 2 – Зависимость долговечности труб из сшитого полиэтилена РЕ-Х от температуры и давления

Температура, °С	Срок службы, лет				
	1	5	10	25	50
	при рабочем давлении, МПа				
20	1,37	1,33	1,32	1,31	1,25
40	1,10	1,08	1,07	1,06	1,04
60	0,87	0,84	0,83	0,81	0,80
80	0,65	0,64	0,63	0,63	–
95	0,57	0,55	0,54	–	–

1.Каддо М.Б., Попов К.Н. Трубы для локальных систем. Сравнительный анализ (Ч.1) // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – М.: МГСУ, 2001. – № 2. – С.16-17.

2.Биргер И.А. Детерминированные и статистические модели усталостной прочности // Проблемы прочности. – 1982. – № 4. – С.24–28.

3.Трошенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – К.: Наукова думка, 1981. – 342 с.

4.Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии / Лебедев А.А., Ковальчук Б.И., Гигиляк Ф.Ф., Ламашевский В.П. – К.: Наукова думка, 1983. – 366 с.

Получено 07.11.2005