

Методика расчета необходимого уменьшения рабочего давления для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводов при наличии в них взаимодействующих дефектов, выявленных при экспертизе промышленной безопасности
Акбашев Р. М.¹, Залетов А. И.², Курдюмов Н. И.³

¹Акбашев Раниф Мунавирович / Akbashev Raniph Munavirovich – эксперт,
Залетов Александр Иванович / Zaletov Alexander Ivanovich – эксперт,
ООО «ТЕНЗОР»;

³Курдюмов Николай Иванович / Kurdyumov Nicolay Ivanovich – эксперт,
ООО «ТЕХИННОВАЦИЯ», г. Москва

Аннотация: предложена методика расчета необходимого понижения рабочего давления, позволяющего временно продолжать эксплуатацию до проведения ремонтных работ дефектного трубопровода, при наличии в нем близко расположенных дефектов.

Ключевые слова: трубопровод, дефекты, промышленная экспертиза, безопасная эксплуатация, прочностной расчет.

Экспертиза промышленной безопасности в соответствии с Федеральным законом РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ направлена на предотвращение разрушения соответствующих объектов, к которым относятся и технологические трубопроводы.

В настоящее время значительная доля технологических трубопроводов исчерпала расчетный ресурс. При их внутритрубной диагностике выявляются различного рода дефекты, препятствующие дальнейшей безопасной эксплуатации трубопроводов в штатном режиме. При невозможности немедленного прекращения эксплуатации трубопровода возникает необходимость, вплоть до проведения ремонтных работ, снизить рабочее давление до безопасной величины, определяемую путем прочностных расчетов.

Существующие нормы [1] и методики [2] определяют порядок расчета на прочность трубопроводов с дефектами без учета их возможного взаимодействия. Однако на практике имеет место наличие нескольких дефектов одного или различных видов, находящихся достаточно близко друг от друга. При этом эффект суммарного снижения прочности не тривиален и заслуживает отдельного изучения.

Рассмотрим взаимодействие дефектов, находящихся на трубе с внешним диаметром D при толщине стенки t . Будем считать, что дефекты имеют глубину h и длину l .

Методика расчета заключается в следующем.

1) Проводится разбиение коррозионных дефектов на участки $5,0\sqrt{Dt}$, с перекрытием между собой на величину $2,5\sqrt{Dt}$.

2) Развертка трубы делится на полосы вдоль трубы с шириной по угловой координате $\alpha = 360\sqrt{t/D}$.

3) Дефекты, принадлежащие общей полосе, объединяются путем проекции на общую линию, параллельную оси трубы.

4) Перекрывающиеся дефекты приводятся к эквивалентному, путем сложения длин и выбором наибольшей из их глубин.

5) Глубина эквивалентного дефекта, полученного пересечением внутреннего и внешнего дефектов, принимается как сумма их максимальных глубин.

6) По известной [2] формуле (1) рассчитывается допустимое давление P_i для каждого из одиночных и эквивалентных дефектов ($i = 1, 2, \dots, N$):

$$P_i = \frac{2t\sigma_s(1 - h/t)}{(D - t)(1 - h/tK_{nc})}, \quad (1)$$

где $K_{nc} = \sqrt{1 + 0,31(\frac{l_i}{\sqrt{Dt}})^2}$ – коэффициент несущей способности.

7) По формуле (2) вычисляется суммарная длина и глубина эффективного дефекта, с учетом всех взаимодействующих дефектов от n до m :

$$l_{mn} = l_m + \sum_{i=n}^{i=m-1} (l_i + S_i) \text{ и } h_{mn} = \frac{\sum_{i=n}^{i=m} h_i l_i}{l_{mn}} \quad (2)$$

8) По формуле (3) вычисляется допустимое давление по длине l_{mn} и глубине h_{mn} эффективного дефекта:

$$P_{mn} = \frac{2t\sigma_s(1 - \frac{h_{mni}}{t})}{(D - t)(1 - \frac{h_{mni}}{l_{mn}K_{nm}})}, \quad (3)$$

$$\text{где } K_{mn} = \sqrt{1 + 0,31\left(\frac{l_{mn}}{\sqrt{Dt}}\right)^2}.$$

9) Допустимое давление для текущей проекционной линии берется как минимум из допустимых давлений для всех отдельных дефектов ($P_1 \dots P_N$) и для комбинаций отдельных дефектов (P_{nm}) на текущей проекционной линии:

$$P_f = \min (P_1, P_2, \dots, P_N, P_{nm}) \quad (4)$$

10) По формуле (5) вычисляется безопасное давление (P_{sw}) на текущей проекционной линии:

$$P_{sw} = K_S \frac{t_{min}}{t} P_f, \quad (5)$$

где K_S – коэффициент чувствительности к разрушению, t_{min} – минимальная толщина трубы на текущей проекционной линии

Значение K_S составляет от 0,72 до 0,78 и определяется экспериментально, путем механических испытаний [1]. Например, для дефекта типа трещины K_S определяется как отношение пределов прочности $\bar{\sigma}_e$ образцов с трещиной и без нее. Отметим, что для трубных сталей с $\bar{\sigma}_e = 550 \dots 700$ МПа $K_S = 0,8$.

Предложенная методика позволяет определить безопасную величину давления при наличии нескольких дефектов различного типа, с учетом эквивалентного уменьшения несущей способности трубы за счет взаимодействия между дефектами. Это дает возможность обеспечить максимально возможную производительность трубопровода при отсутствии риска его разрушения до проведения ремонтных работ.

Литература

1. ГОСТ 25.506–85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкость, разрушения) при статическом нагружении. М.: Изд-во стандартов. – 1985.
2. Мирошниченко Б. И., Аладинский В. В., Маханев В. О., Мельников В. Л. Методические рекомендации по количественной оценке состояния магистральных газопроводов с коррозионными дефектами, их ранжирование по степени опасности и определение остаточного ресурса. ВРД 39-1.10-004-99. – М.2000. – 52 с.