

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ НАЛИЧИИ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

А. Ю. Горняк

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Г. П. Тариков

Сосуды высокого давления в настоящее время широко применяются в различных областях техники. Это газовые и нефтяные магистральные трубопроводы, реакторные емкости в химическом производстве, трубы и емкости в теплоэнергетике и др.

Так протяженность газовых магистральных трубопроводов составляет десятки и сотни тысяч километров. Разрыв таких сосудов (что, к сожалению, случается) крайне нежелателен и в ряде случаев по своим последствиям классифицируется как катастрофа. Причинами разрушений являются ослабления стенки сосуда вследствие коррозии, производственных дефектов, а также дополнительная (кроме внутреннего давления) нагрузка осевая или поперечная, температурные нагрузки, вибрационные нагрузки.

При таких масштабах использования сосудов высокого давления срок их безопасной службы оказывает значительное влияние на экономику той или иной отрасли. Поэтому необходимо иметь возможность как можно точнее оценить величину безопасного срока службы сосудов для конкретных условий их эксплуатации. При этом особое внимание следует уделить сосудам уже получившим повреждение (например, коррозия) в эксплуатации, или имеющим производственные дефекты.

Эффективное решение задач диагностики и оценки остаточного ресурса эксплуатации оборудования позволяет вовремя оценить критическую ситуацию и вовремя принять необходимые меры для ее предотвращения. Практика показывает, что основными причинами износа оборудования являются различные коррозионные процессы, протекающие в стенках трубопроводов. При этом прогнозированию динамики процесса коррозии обычно уделяется недостаточно внимания, ограничиваясь, в большинстве случаев, поиском грубых отклонений рабочих параметров отдельных частей объектов от нормативных. Отметим, прогнозирование ресурса, особенно реального, является сложным и требующим более полного развития и изу-

чения вопросом. При этом диагностика и оценка ресурса оборудования может осуществляться как на стадии изготовления, так и в процессе эксплуатации.

Целью настоящей работы является исследование влияния глубины коррозионного повреждения трубопровода на его напряженно-деформируемое состояние.

Как известно, в момент разрушения предельное напряженное состояние не достигается во всех сечениях трубы. По достижении некоторого давления возле концентратора возникает зона предельного состояния материала. В этой зоне будет наблюдаться нарушение сплошности материала, что эквивалентно образованию трещины.

Рассмотрена задача для трубопровода с концентратором напряжения в виде коррозионного повреждения. Из литературных источников известно, что в поврежденных коррозией трубах местные утонения в плане близки по форме к полуэллипсу. Граница эллипса описывается следующей формулой:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

где a и b – полуоси эллипса. Отсюда контур концентратора в плане будет меняться по такому закону:

$$y = \frac{b}{a} (a^2 - x^2)^{1/2}.$$

Следовательно, толщина стенки трубы h_1 в зоне утонения будет равна:

$$h_1 = h - y,$$

где h – толщина стенки трубы.

В неповрежденной трубе напряжение можно определить из уравнения Лапласа:

$$\frac{\sigma_{\theta}}{\rho_{\theta}} + \frac{\sigma_M}{\rho_M} = \frac{p}{t}, \quad (1)$$

где σ_{θ} и σ_M – окружное и меридиональное напряжение; ρ_{θ} и ρ_M – радиусы кривизны в окружном и меридиональном направлениях.

Так как для цилиндрической части трубы $\rho_M = \infty$, то из уравнения (1) получим:

$$\sigma_{\theta} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot t}, \quad (2)$$

где p – давление; D – диаметр трубы; t – толщина стенки трубы.

Определим напряжение σ_M . Для этого воспользуемся условием, что $\epsilon_M = 0$, где ϵ – относительная деформация. Запишем обобщенный закон Гука в виде:

$$E \cdot \epsilon_M = \sigma_M - \nu(\sigma_{\theta} + \sigma_r).$$

Обозначим главные напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Так как $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, то будем иметь:

$$\sigma_1 = \sigma_\theta, \quad \sigma_2 = \sigma_M, \quad \sigma_3 = -p.$$

Для проверки прочности будем использовать третью теорию прочности:

$$\sigma_{r3} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на растяжение. Принимая следующие параметры трубы $D = 1020$ мм, $p = 55$ кг/см², $t = 10$ мм, из формулы (2) получим:

$$\sigma_\theta = \frac{55 \cdot 1020}{2 \cdot 10} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2 = 280 \text{ МПа.}$$

Рассмотрим элемент газопровода при наличии местной коррозии, находящийся под внутренним давлением p . Вырежем из стенки трубы элемент размером 20x40 мм и толщиной в направлении вдоль оси трубы, равной 2 мм.

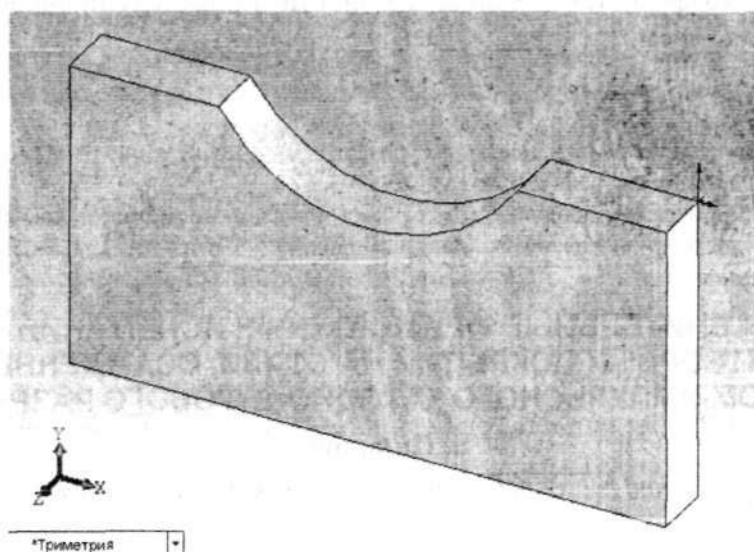


Рис. 1. Выделенный элемент

На основании принципа Сен-Венана загрузим его растягивающими усилиями $\sigma_0 = \sigma_\theta$.

Для решения задачи применяем программный комплекс Лира 9.0. Исследовано напряженно-деформированное состояние для случаев, когда глубина коррозионного повреждения y равнялась 1, 2, 3 и 4 мм. В качестве примера результатов расчета на рис. 2 показано напряженно-деформированное состояние выделенного элемента и эпюра напряжений по характерному сечению для случая, когда $y = 4$ мм:

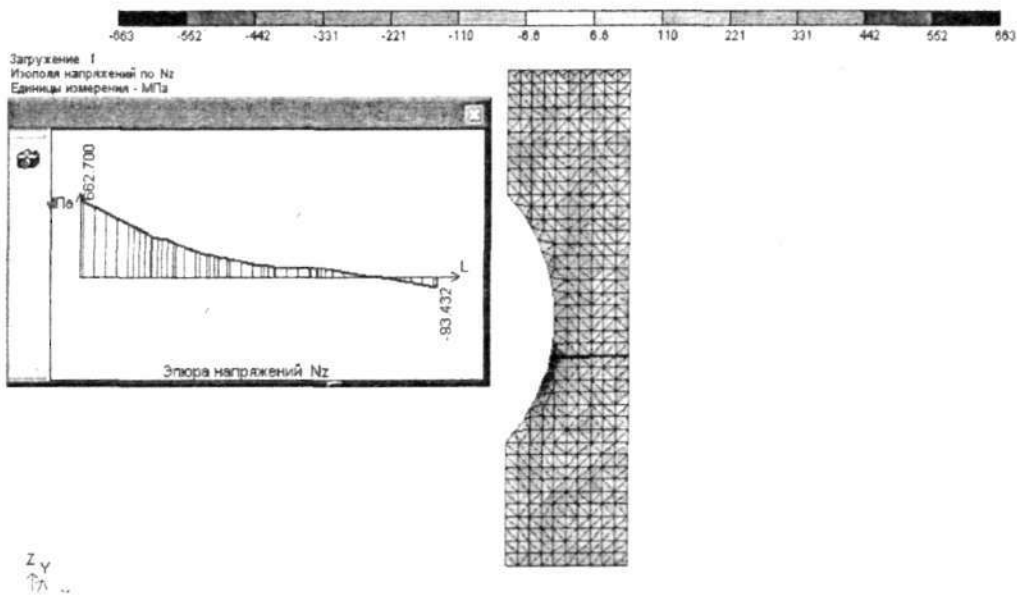


Рис. 2

Определены коэффициенты запаса прочности по пределу прочности и по пределу текучести для рассмотренных случаев.

Литература

1. Концентрация напряжений в пластинах с местными утонениями / В. П. Сухинин [и др.] // Проблемы прочности. – 1986. – № 3. – С. 91–93.
2. Расчет цилиндрических оболочек с местными утонениями методом локальных вариаций / А. А. Лежнева [и др.] // Изв. вузов. Машиностроение. – 1974. – № 11. – С. 33–36.