

НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ БИТУМНЫХ ПОКРЫТИЙ СТАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПОДЗЕМНОГО ЗАЛЕГАНИЯ

Для оценки остаточного ресурса работоспособности (долговечности) защитного битумного покрытия в последние годы применяют метод, основанный на определении времени, в течение которого величина его переходного сопротивления снижается до предельно допустимого значения [1]. Предельный срок службы защитного покрытия (в годах) может быть вычислен по формуле:

$$t_{\text{п}} = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{н}}$ и $R_{\text{пр}}$ – начальное и предельно допустимое значения переходного электрического сопротивления в $\text{Ом} \cdot \text{м}^2$; α – постоянная времени старения покрытия, год^{-1} .

Данная формула соответствует экспоненциальной зависимости изменения защитных свойств покрытия трубопровода от срока его службы [1]. $R_{\text{н}}$ в зависимости от типа и конструкции покрытия определяется по [1] или по данным изготовителя. При этом $R_{\text{н}}$ должно быть не менее $400 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$, а $\alpha = 0,125 \text{ год}^{-1}$. Правильная и своевременная оценка остаточного ресурса работоспособности битумного защитного покрытия крайне важна. По истечении ресурса работоспособности защитное покрытие теряет свою целостность из-за деструкции битумного связующего. В покрытии появляются трещины, через которые вода, водные растворы (электролиты) проникают к поверхности стальных труб, вызывая их коррозию. При этом электрохимический процесс коррозии может протекать весьма быстро.

Существует хорошо зарекомендовавший себя за два десятилетия экспресс-метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов [2, 3]. Метод определения долговечности полимерных материалов основан на взаимосвязи между долговечностью и значением энергии активации, определяемой качеством материала и уменьшающейся под воздействием эксплуатационных факторов. Ранее, например, при оценке долговечности полимерных труб для инженерно-технических систем определялось значение $E_{\text{д}}$ на материалах из новых, не бывших в эксплуатации труб. Эксплуатационные факторы (температура и давление жидкости) были

жестко зафиксированы соответствующими нормативными документами. Это позволяло оценивать снижение параметра E_d эксплуатационными факторами на величину $\Delta E_{э.ф.}$. В уравнении долговечности использовалась величина $\Delta E_{расч} = E_d - \Delta E_{э.ф.}$. В результате расчетов получались реальные значения долговечности, подтверждаемые на практике.

Однако этот подход применить для битумных антикоррозионных покрытий стальных газопроводов подземного залегания оказалось затруднительным из-за невозможности корректного определения $\Delta E_{э.ф.}$. Оценить эксплуатационные факторы (температуру, механические воздействия, действие химических агрессивных сред и др.) даже в первом приближении возможно с рядом допущений. Температура битумного покрытия $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в значительной степени условная, т. к. не на всех участках глубина залегания газопровода 1,6 м. Очевидно также, что температура газа внутри стальных труб в течение десятков лет в разных районах РБ не может быть постоянной и равной конкретно $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Механические напряжения, зависящие от глубины залегания труб, их диаметра и плотности грунта также разные, трудно учитываемые. Еще сложнее учесть воздействие на битумные покрытия за долгие годы водных растворов солей. Кроме того, применение уравнения долговечности для полиэтилена низкой плотности ПЭНП в случае битумных покрытий в значительной степени условно, т. к. химический состав битума не соответствует химическому составу полиэтилена.

В связи с изложенным возникла необходимость впервые применить другой подход для оценки долговечности (остаточного ресурса работоспособности – ОР) бывших в эксплуатации разное количество лет битумных покрытий. Новый подход основан на установлении зависимости $ОР - E_d$. Аналитический характер этой экспоненциальной зависимости (ее точность) зависит от числа точек на ней, т.е. от числа образцов (исследовано 62 образца). Чем больше образцов с разными сроками эксплуатации ($Ср\ Э$), тем выше точность построения экспоненты $ОР - E_d$. Долговечность свежего, не бывшего в эксплуатации битума, оцененная при подстановке значения E_d в уравнение для ПЭНП, принимается равной 72 г. Срок эксплуатации: 2024 г. (время отбора образцов) минус год ввода газопровода в эксплуатацию. Тогда остаточный ресурс работоспособности равен $ОР = 72 - Ср\ Э$. При этом в новом подходе используется универсальность параметра E_d , его способность адекватно понижаться под воздействием эксплуатационных факторов, даже неизвестных для экспериментатора, т.к. $E_d = E_{х.св.} + E_{м.вз.}$, где $E_{х.св.}$ – энергия химических связей внутри молекул; $E_{м.вз.}$ – энергия межмолекулярных взаимодействий.

В процессе эксплуатации битумных покрытий они стареют тем больше, чем длительнее срок их эксплуатации. В результате воздействия всех видов эксплуатационных факторов постепенно снижается молекулярная

масса олигомерных молекул битума, что приводит к адекватному снижению межмолекулярных взаимодействий $E_{м.вз.}$ (чем короче фрагменты молекул битума, тем меньше $E_{м.вз.}$). Изначально пластичный битум постепенно охрупчивается. При приближении срока эксплуатации, соответствующему ОР близкому к нулю, образец полностью состарившегося битума рассыпается в руках, т.к. $E_{м.вз.}$ близка к нулю.

Построена экспоненциальная зависимость: остаточный ресурс работоспособности (ОР) – энергия активации термоокислительной деструкции (E_d), математической обработкой которой, минимизируя сумму квадратов ошибок между экспериментальными и модельными значениями, выведено уравнение:

$$OR = 0,0432 \cdot e^{0,05985 \cdot E_d} \quad (2)$$
$$R^2 = 0,964$$

Это уравнение позволяет с достаточной точностью оценивать долговечность битумных покрытий стальных газопроводов подземного залегания экспресс-методом. Взяв пробу покрытия массой несколько грамм (неразрушающий контроль) и определив в течении одного рабочего дня значение параметра E_d , рассчитывается долговечность.

Стальные газопроводы с битумным антикоррозионным покрытием, введенные в эксплуатацию в начале 60-х годов прошлого столетия, эксплуатируются уже около 65 лет. Максимальная долговечность битумных покрытий 72 года, поэтому остаточный ресурс работоспособности таких покрытий не более 5–7 лет. Очевидно, что уже сейчас следует планировать работы по оценке ОР битумных покрытий газопроводов, введенных в эксплуатацию до 70-х годов в конкретных районах РБ, и очередность замены газопроводов с битумными покрытиями на газопроводы из полиэтилена высокой плотности или на стальные с полиэтиленовым покрытием.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 58094 Системы газораспределительные. Сети газораспределения. Определение продолжительности эксплуатации стальных наружных газопроводов при проектировании – Введ. 01.10.2018. – М.: Стандарт информации, 2018. – 22 с.
2. СТБ 1333.2–2002 «Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности труб полимерных для инженерно-технических систем» – Введ. 28.06.2002 (впервые). – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 8 с.
3. СТБ 1333.0–2002 «Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов» – Введ. 28.06.2002 (впервые). – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 8 с.