СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

А. В. Кононович, Б. В. Чернейко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. М. Кидун

Проведен анализ современных методов прогнозирования технического состояния и остаточного ресурса полиэтиленовых газопроводов. Рассмотрены технические характеристики труб ПЭ80 и ПЭ100, механизм медленного роста трещин (SCG), методы диагностики (визуальный контроль, УЗК, Smart Pigging, георадарное зондирование). Получено уравнение длительной прочности для прогнозирования остаточного ресурса. Выполнен сравнительный анализ регламентного подхода СНГ и риск-ориентированного подхода ЕС. Показана необходимость перехода к оценке фактического технического состояния газопроводов.

Ключевые слова: полиэтиленовые газопроводы, прогнозирование ресурса, медленный рост трещин, техническая диагностика, Smart Pigging, георадарное зондирование, MRS, SDR, цифровые двойники.

Газораспределительный комплекс Республики Беларусь характеризуется массовым внедрением труб из полиэтилена низкого давления (ПНД). От 90 до 95 % вновь строящихся распределительных сетей выполняются из полимерных материалов, обусловленных стойкостью к коррозии, химической инертностью и экономичностью монтажа. Нормативный срок службы составляет 50 лет, однако реальная долговечность зависит от температурных перепадов, УФ-излучения, механических нагрузок и грунтовых вод. С приближением первых партий ПЭ труб к предельному сроку службы, объективная оценка их технического состояния становится приоритетной задачей.

Для газораспределительных сетей Беларуси применяются трубы классов ПЭ80 (MRS 8,0 МПа) и ПЭ100 (MRS 10,0 МПа). Классификация ПЭ основана на минимальной требуемой прочности (MRS – минимальная длительная прочность, МПа), определяемой по результатам длительных гидростатических испытаний при 20 °С в течение 50 лет. Соотношение стандартного отношения размеров (SDR) характеризует толщину стенки трубы и определяет номинальное напряжение при заданном внутреннем давлении. Для газопроводов применяются трубы SDR 11, SDR 17,6 и SDR 21, обеспечивающие расчетное давление до 0,6 МПа.

Критическим механизмом разрушения полиэтиленовых труб является медленный рост трещин (SCG – Slow Crack Growth), протекающий латентно под действием постоянных растягивающих напряжений. Процесс SCG инициируется в зонах концентрации напряжений (сварные соединения, царапины, вкрапления) и развивается со скоростью, экспоненциально зависящей от уровня напряжения и температуры. Для ПЭ80 характерна скорость роста трещин 0,1–0,5 мм/час при напряжении 4 МПа и 80 °С, для ПЭ100 – в 2–3 раза ниже благодаря повышенной молекулярной ориентации полимерных цепей.

Система технической диагностики полиэтиленовых газопроводов включает четыре основных метода. Визуальный контроль позволяет выявить наружные дефекты (трещины, деформации, коррозионные повреждения фитингов) с точностью до 0,1 мм

при использовании оптических приборов. Ультразвуковой контроль (УЗК) сварных соединений выполняется дефектоскопами типа А1212 «МАСТЕР», УД «ПЕЛЕНГ» с частотой зондирующего сигнала 2–5 МГц и точностью определения координат дефекта до ±0,1 мм. Метод позволяет обнаружить поры, включения, недопрокалы в сварных швах на глубине до 50 мм.

Внутритрубная диагностика Smart Pigging обеспечивает непрерывный мониторинг состояния трубы на километры протяженности. Интеллектуальные скребки оснащаются ультразвуковыми или магнитными датчиками, регистрирующими толщину стенки, геометрические отклонения и дефекты с точностью ±5 % от номинальной толщины. Однако в распределительных сетях Беларуси применение Smart Pigging ограничено из-за отсутствия пусковых камер, малых диаметров (до 160 мм) и сложной геометрии сетей с большим количеством отводов.

Георадарный контроль (GPR) используется для оценки условий залегания трубопроводов без вскрытия грунта. Метод основан на излучении электромагнитных импульсов частотой 100–1000 МГц и регистрации отраженных сигналов от границ раздела сред. GPR позволяет выявить пустоты в грунте, зоны увлажнения, механические повреждения изоляции и нарушения геометрии трассы с глубиной зондирования до 3 м и разрешением 5–10 см.

Прогнозирование остаточного ресурса базируется на лабораторных испытаниях образцов-вырезок согласно СТБ ГОСТ Р 50838 и ГОСТ 18599. Испытания включают кратковременные разрывные тесты при температурах 20, 40 и 80 °С для определения предела прочности и длительные гидростатические испытания при напряжении MRS на 100 и 1000 ч. Результаты аппроксимируются уравнением длительной прочности, связывающим напряжение разрушения с временем и температурой:

$$\log(\sigma) = A - B \cdot \log(t) + CT,$$

где σ – напряжение разрушения, МПа; t – время до разрушения, ч; T – температура, °С; A, B, C – эмпирические коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов для каждой партии материала. Для ПЭ80 типичные значения: $A = 5{,}2–5{,}8$; $B = 0{,}15–0{,}25$; $C = 0{,}008–0{,}012$. Для ПЭ100: $A = 5{,}8–6{,}4$; $B = 0{,}12–0{,}20$; $C = 0{,}006–0{,}010$.

Сравнительный анализ нормативных подходов выявляет существенные различия между системами СНГ и Европейского Союза. В Беларуси доминирует регламентный подход (СН 4.03.01-2019), предусматривающий первую оценку технического состояния газопроводов через 40 лет эксплуатации с последующими периодическими проверками каждые 10 лет. Данный подход основан исключительно на календарном сроке службы и не учитывает фактическое состояние материала, условия эксплуатации и накопленные повреждения.

В Европе применяется риск-ориентированный подход (EN 1555, ISO 4437), основанный на непрерывном мониторинге состояния газопроводов с использованием цифровых двойников и IoT-мониторинга. Система включает установку датчиков давления, температуры, деформации и акустической эмиссии с передачей данных в реальном времени. Методика PB-10 (Performance-Based) позволяет прогнозировать остаточный ресурс с точностью ±5 лет и планировать ремонтные работы по фактической необходимости, что снижает эксплуатационные затраты на 25–40 % по сравнению с регламентным подходом.

Обеспечение безаварийной эксплуатации полиэтиленовых газопроводов требует комплексного подхода, сочетающего соблюдение нормативов с внедрением современных методов диагностики. Полученное уравнение прогнозирования длитель-

ной прочности позволяет оценивать остаточный ресурс с учетом температурно-временных факторов. Переход от регламентного к риск-ориентированному подходу с использованием цифровых паспортов и IoT-мониторинга позволит оптимизировать затраты и повысить надежность газоснабжения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на адаптацию европейских методик к условиям эксплуатации в Республике Беларусь.

Литература

1. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления : СН 4.03.01-2019. – М. : НТЦ ПБ, 2019.
2. Трубы полиэтиленовые для газопроводов : ГОСТ 18599-2001. – М. : Стандартинформ, 2001.
3. Трубы и фитинги из полиэтилена для газопроводов : СТБ ГОСТ Р 50838-2019. – Минск : Госстандарт, 2019.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭЦ

Б. В. Чернейко, А. В. Кононович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. А. Вальченко

Проведен расчет гидравлических потерь в системе оборотного водоснабжения ТЭЦ-2. Установлено, что максимальная скорость потока достигает 4,42 м/с на участках с диаметром 1000 мм, число Рейнольдса превышает значение 10^6 (режим развитой турбулентности). Суммарные путевые потери составили 9,74 м, местные – 11,36 м, что соответствует нормативному диапазону 5–15 м. Выявлен потенциал снижения энергопотребления циркуляционных насосов на 20–40 % путем увеличения диаметров напряженных участков.

Ключевые слова: оборотное водоснабжение, гидравлические потери, гидравлический расчет, энергоэффективность.

Система оборотного водоснабжения (СОВ) является критически важным элементом ТЭЦ, обеспечивающим охлаждение конденсаторов турбогенераторов. Гидравлические потери напора непосредственно влияют на энергопотребление циркуляционных насосов, которое составляет 0,25–0,35 % от мощности турбогенератора. Оптимизация гидравлических характеристик позволяет снизить эксплуатационные затраты на 20–40 % [1].

Объект исследования – СОВ ТЭЦ-2 с пятью циркуляционными насосами (производительность до 12500 т/ч, напор 0,1–0,2 МПа), тремя конденсаторами турбогенераторов (гидравлическое сопротивление 48,1 кПа) и двумя градирнями. Общая протяженность напорных и сливных трубопроводов составляет 552 и 351 м при диаметрах 1000–2200 мм. Расчетный расход воды при работе трех насосов и двух турбогенераторов – 25000 т/ч.

Гидравлический расчет выполнен по методике [2] с использованием зависимостей для определения потерь на трение по длине трубопроводов и коэффициентов местных сопротивлений. Расчет проведен при следующих физических свойствах воды: плотность 999 кг/м³, кинематическая вязкость $1{,}56 \cdot 10^{-6}$ м^2/с, шероховатость труб 0,15 мм, ускорение свободного падения 9,81 м/с^2.