

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НАДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

А. Н. БУТОВКА

АО ВНИИСТ

Москва, Россия

Аннотация. Предложена методика оценки остаточного ресурса участков надземных трубопроводов на основе вероятностного подхода, учитывающая техническое состояние, условия эксплуатации и историю дефектации. Методика позволяет количественно оценить риск отказа и обосновать сроки проведения ремонтных работ.

Ключевые слова: остаточный ресурс, надземный трубопровод, вероятность отказа, техническая диагностика, риск-ориентированный подход.

Введение. Проблема оценки остаточного ресурса надземных магистральных трубопроводов является актуальной задачей в условиях старения основных фондов. Для надземных участков трубопроводов, включая переходы через водные преграды, оценка технического состояния требует учета специфических факторов риска [1–4]. В работе представлена вероятностная методика, позволяющая комплексно учесть различные факторы риска для надземных трубопроводов.

Описание методики. Методика основана на оценке вероятности возникновения отказа участка трубопровода в зависимости от его технического состояния. Расчет выполняется для трех категорий дефектов: выявленных, устраненных и необнаруженных.

Вероятность отказа по техническому состоянию для выявленных дефектов:

$$P_{TC1} = 1 - \prod_{si=1}^s [1 - K_{\Sigma} \cdot P(A_{si})]^{m_s}, \quad (1)$$

где s – количество типов дефектов и повреждений, шт.;

m_s – для трубопроводов: количество дефектов или повреждений одного типа, выявленных при проведении технического диагностирования на обследуемом участке газопровода, шт.;

m_s – для дюкеров: протяженность дефектов, выявленных при проведении технического диагностирования на обследуемом участке дюкера, м;

$P(A_{si})$ – потенциальная вероятность возникновения отказа из-за s_i дефекта или повреждения;

K_{Σ} – корректирующий коэффициент опасности дефектов и повреждений, учитывающий влияние условий эксплуатации и динамики возникновения дефектов и повреждений, определяется как произведение индивидуальных коэффициентов. Частота отказов определяется как:

$$n_{TC} = P_{TC} \cdot L, \quad (2)$$

где L – протяженность обследуемого участка газопровода, км.

Остаточный ресурс для категории дефектов:

$$T_{пр} = \frac{-\ln(P_d)}{n_{TC}} \quad (3)$$

где P_d – допустимая вероятность отказа (принимается равной 0,05).

Итоговый остаточный ресурс участка рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{t_1 \cdot t_2 \cdot t_3}{t_1 \cdot t_2 + t_2 \cdot t_3 + t_3 \cdot t_1}, \quad (4)$$

где t_1 – остаточный ресурс участка при наличии выявленных дефектов при проведении диагностики, лет;

t_2 – остаточный ресурс участка при наличии устраненных дефектов и/или повреждений, лет;

t_3 – остаточный ресурс участка с учетом необнаруженных дефектов и/или повреждений, лет.

Пример расчета. В качестве примера рассмотрен участок надземного магистрального газопровода со следующими характеристиками:

– Протяженность: 34,7 км

– Возраст: 54 года

– Выявленные дефекты: геометрия (5 шт.), стенка (41 шт.), сварные швы (10 шт.), комбинированные (1 шт.), дефекты ОРЧ (257 шт.)

Результаты расчета по базовому варианту методики:

Остаточный ресурс по выявленным дефектам: $t_1 = 15.21$ года

Остаточный ресурс по устраненным дефектам: $t_2 = 392.6$ года

Остаточный ресурс по необнаруженным дефектам: $t_3 = 45.83$ года

Итоговый остаточный ресурс участка: $T = 11.42$ года

Выводы

1. Предложенная методика позволяет количественно оценить остаточный ресурс надземного трубопровода с учетом его реального технического состояния и условий эксплуатации.

2. Основным преимуществом методики для надземных трубопроводов является возможность учета специфических факторов риска: провисание, оголение участков, скорость течения водных преград, состояние балластировки и изоляции.

3. Методика позволяет дифференцированно учитывать влияние различных типов дефектов на общий риск эксплуатации, что особенно важно для надземных переходов с сложными условиями эксплуатации.

4. Расчет показал, что участок находится в удовлетворительном состоянии и требует планового ремонта в течение 11 лет.

5. К недостаткам методики можно отнести необходимость наличия детальных данных диагностики и определенную субъективность в назначении весовых коэффициентов для различных типов дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов, Б. В. Управление риском аварий на объектах трубопроводного транспорта (магистрального трубопровода): методы оценки и прогноза повторяемости ЧС на объектах магистральных нефтегазопроводов / Б. В. Потапов, О. О. Морозов, А. М. Ревазов // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2023. – № 3(85). – С. 14–29. – EDN PUJODZ.
2. Бутовка, А. Н. О методах планирования долговечности трубопроводов в надземном исполнении / А. Н. Бутовка // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2022. – № 2(82). – С. 16–20. – EDN YWJFSA.
3. Васильев, Г. Г. Сравнительный анализ причин отказов подземных и надземных трубопроводов / Г. Г. Васильев, А. Н. Бутовка // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2024. – № 2(140). – С. 62–66. – EDN IVUNSE.
4. Васильев, Г. Г. Исследование процессов старения свойств металла надземных магистральных газопроводов / Г. Г. Васильев, А. Н. Бутовка // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2025. – № 1(145). – С. 34–41. – EDN ARBDCZ.