

## ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 614.8

### СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Е.А. ГРОМ

(Представлено: В.В. Бердашкевич)

*Представлены меры, направленные на повышение надежности распределительных газопроводов Республики Беларусь через развитие системы контроля и надзора за их техническим состоянием. Особое внимание уделяется мониторингу на этапах проектирования и строительства, который позволяет эффективно оценивать остаточный ресурс и осуществлять качественные ремонты, тем самым обеспечивая безопасность и долговечность газовых сетей.*

На 2024 год общая длина распределительных сетей природного газа в Республике Беларусь составляет примерно 65,5 тыс. км, включая 35 тыс. км полиэтиленовых и 30,5 тыс. км стальных газопроводов. Эти сети ежегодно обеспечивают поставку 18-19 млрд м<sup>3</sup> природного газа для потребителей [1]. Информация о текущем состоянии системы газоснабжения Республики Беларусь на 2024 год представлена в таблице 1.

Таблица 1. – Система газоснабжения Республики Беларусь

| Название элемента                                | Характеристика   |
|--|--|
| Уровень газификации                              | 98%  |
| Распределение по давлению                        | Общая протяженность: 65.5 тыс. км<br>Высокое давление: 4.5%<br>Среднее давление: 7.4 %<br>Низкое давление: 88.1% |
| Газифицированные города                          | 115 из 115   |
| Газифицированные административные районы         | 118 из 118   |
| Газифицированные поселки городского типа         | 85 из 85   |
| Сельские населенные пункты                       | Более 3.5 тысячи   |
| Потребители                                      | Промышленные: 2.7 тыс.<br>Коммунально-бытовые: более 7 тыс.  |
| Газорегуляторный пункт (ГРП)                     | 6 тыс.   |
| Шкафной газорегуляторный пункт (ШРП)             | 4 тыс.   |
| Газонаполнительная станция (ГНС)                 | 8  |
| Газопроводы сжиженных углеводородных газов (СУГ) | 155 км   |
| Резервуарные установки                           | 308  |

Комплекс мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию газораспределительной системы, охватывает мониторинг технического состояния газопроводов. В соответствии с действующими нормами промышленной безопасности в Республике Беларусь [2], требуется проводить оценку состояния трубопроводов на основании обследований. В случае выявления ненадежности трубопроводов необходимо осуществлять диагностику для определения их ресурса и сроков вывода из эксплуатации.

Было выявлено несколько ключевых методов, способствующих повышению надёжности систем газоснабжения в настоящее время. Наиболее важными из них являются следующие (таблица 2).

Таблица 2. – Способы повышения надежности и их характеристика

| Способы повышения надежности                        | Характеристика способа  |
|---|---|
| Модернизация и обновление оборудования              | Использование новых материалов и технологий, которые обеспечивают большую долговечность и устойчивость к износу.  |
| Резервирование систем                               | Внедрение резервных линий и оборудования, которые могут поддерживать работу системы в случае выхода из строя основной инфраструктуры.   |
| Мониторинг и диагностика в режиме реального времени | Применение автоматизированных систем для постоянного контроля состояния трубопроводов и других элементов газоснабжения, что позволяет оперативно выявлять и устранять неисправности.                |
| Повышение квалификации персонала                    | Регулярное обучение и повышение квалификации специалистов, работающих с газоснабжающими системами, для обеспечения их компетентности и способности эффективно реагировать на чрезвычайные ситуации. |
| Интеграция интеллектуальных систем                  | Использование цифровых технологий и искусственного интеллекта для оптимизации управления системами газоснабжения и предсказания возможных проблем.  |
| Повышение уровня безопасности                       | Введение дополнительных мер безопасности, таких как установка газоанализаторов, систем автоматического отключения в случае утечек и других систем защиты.   |

Метод резервирования используется для обеспечения более высокого уровня надежности газоснабжающей системы по сравнению с надежностью её отдельных компонентов.

Существует количественная характеристика надежности работы элементов, которые проработали свыше установленного срока службы, выраженная в следующей формуле:

$$P_{\tau}(t) = 1 - F_{\tau} = P(\tau > t), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – параметр формы кривой распределения.

Такую вероятность можно охарактеризовать как функцию надёжности. Указанное выражение служит критерием надёжности как отдельного элемента, так и всей системы. Поскольку распределительные системы газоснабжения являются сложными техническими объектами, для оценки их безотказности применяется более сложный критерий – показатель качества функционирования. Этот показатель не только анализирует вероятность безотказной работы, но также учитывает дополнительные факторы, такие как эффективность функционирования системы, её устойчивость к внешним воздействиям и способность поддерживать необходимые эксплуатационные параметры в различных условиях. Основное различие между этими критериями заключается в том, что функция надёжности фокусируется исключительно на вероятности безотказной работы, тогда как показатель качества функционирования предоставляет комплексную оценку надёжности, эффективности и устойчивости системы в целом.

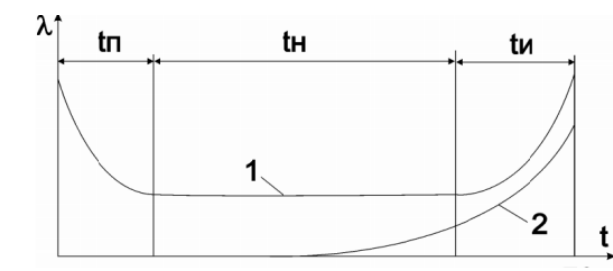
Функция надёжности и показатель качества функционирования формируют общую оценку надёжности газоснабжающих систем, однако в практических условиях также необходимо учитывать такие аспекты, как возможность ремонта. Поскольку газоснабжающие системы могут быть отремонтированы, для нашего исследования важно ввести дополнительный термин – «ремонтпригодность».

Ремонтпригодность отражает способность системы газоснабжения выявлять и устранять неисправности через техническое обслуживание и ремонт. При этом ключевым показателем этого свойства служит время восстановления отказавшего элемента, обозначаемое как  $P_{\tau}$ .

В ходе нашего исследования мы выделили интенсивность отказов  $\lambda$  как ключевую характеристику надежности газоснабжающей системы. Эта величина количественно отражает вероятность отказа элемента, который функционировал без сбоев в течение времени  $t$ , на момент  $dt$ .

В разработке задачи оценки надежности газовой схемы первоочередным шагом является определение её надежности. Это обусловлено возможностью отказа системы газоснабжения из-за неисправностей отдельных элементов. Мы видим необходимость в прогрессе проектирования газовых систем, включая разделение схемы на секции в зависимости от надежности распределительных газопроводов.

Для более детальной оценки состояния газопровода предлагаем внедрить два метода анализа согласно рекомендациям [3]. Первый метод основан на статистических данных, второй — на оценке остаточного ресурса, определяемого по коррозионному утончению стенок и изменению механических свойств металла труб. Особое внимание уделим методу статистического анализа. Надежность объекта в эксплуатации можно проиллюстрировать графиком зависимости интенсивности отказов от времени, как показано на рисунке 1.



1 – интенсивность отказов  $\lambda(t)$ ; 2 – кривая старения;

$t_{п}$  – период приработки;  $t_{н}$  – нормальная работа;  $t_{и}$  – период износа

Рисунок 1. – График типичной зависимости интенсивности отказов объекта от времени эксплуатации.  
Зависимость интенсивности отказов объекта от времени эксплуатации

Функцию надёжности в моменте, принимаемом за период износа, в соответствии с распределением Вейбулла [3] можно принять в следующем виде:

$$P(t) = e^{-\lambda t^{\alpha}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – параметр формы кривой распределения.

Причём интенсивность отказов объекта в период износа мы представим следующей формулой:

$$\lambda(t) = \lambda \alpha t^{\alpha-1}, \quad (3)$$

Время продления ресурса в период износа обозначается по формуле:

$$t = (-\ln(P_{пл}) - \lambda)^{1/\alpha}, \quad (4)$$

Параметр формы кривой распределения  $\alpha$  принимается исходя из условий эксплуатации: для межпоселковых газопроводов  $\alpha = 1.1$ ; для газопроводов в черте населенных пунктов  $\alpha = 1.2$ ; для газопроводов в грунтах с высокой коррозионной активностью  $\alpha = 1.2$ ; для газопроводов в грунтах с высокой коррозионной активностью и при наличии опасного влияния блуждающих токов  $\alpha = 1.3$ . [3]

Показатель интенсивности отказов представляет собой скорость возникновения отказов в моменты времени его работы, то есть в виде формулы такой показатель можно отобразить следующим образом:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_p \Delta t}, \quad (5)$$

где  $\Delta n(t)$  – число отказавших элементов за промежуток времени  $\Delta t$ ,

$N_p$  – число работоспособных элементов на момент  $t$ .

Для учета элемента газоснабжающей системы мы включаем в расчет длину газопроводной трубы, принимая во внимание соотношение между наружным диаметром и толщиной стенки. Параметр потока отказов для газопровода можно вычислить по следующей формуле:

$$\lambda_i = k_{тр} \lambda^{тр} + k_1 \lambda^{к1} + k_2 \lambda^{к2} + k_3 \lambda^{к3} \quad (6)$$

где  $k_i$  - количество повреждений одного типа.

В результате проведенного исследования нами было отмечено, что повышение надежности распределительных газопроводов Республики Беларусь представляет собой многогранную задачу, требующую комплексного подхода. Была выявлена эффективность внедрения двух методов анализа: первый основан на статистических данных, что позволило выявить ключевые факторы, влияющие на эксплуатационные характеристики газопроводов; второй метод, связанный с оценкой остаточного ресурса труб, предоставил объективные данные о состоянии материалов, подвергшихся коррозионному утончению и изменениям механических свойств. Результаты применения данных методов показали, что использование статистического анализа в сочетании с оценкой остаточного ресурса может значительно повысить точность прогноза надежности газопроводов, а также улучшить процесс планирования технического обслуживания и ремонта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бердашкевич, В. В., Леонович И. А., Янушонок А. Н. Разработка методов оценки долговечности распределительных газопроводов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – Москва, 2023. – № 6(138). – С. 85-95.
2. Об утверждении Правил по обеспечению промышленной безопасности в области газоснабжения : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 5 декабря 2022 г. № 6. – Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W22339537p>. – Дата доступа: 02.10.2024.
3. Абразовский А.А., Савастийёнок А.Я., Гориченко С.Ф. Оценка технического состояния распределительного стального подземного газопровода по статистическим данным // Энергетика Беларуси. – 2023: сб. мат. Республиканской научно-практической конференции, г.Минск, 25-26 мая 2023 г. – Минск: Белорусс. нац. техн. ун-т, 2023. – С.138-141.