

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ДЕГРАДАЦИИ МЕТАЛЛА,  
ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ПАРАМЕТРОВ ВНУТРИДОМОВОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**В. В. Бердашкевич<sup>1</sup>, Н. В. Бондаре<sup>2</sup>, Н. С. Бондаре<sup>2</sup>, Н. Н. Хомич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
Новополоцк, Беларусь

<sup>2</sup> SIA ZRF RUMBA,  
Латвия

**Аннотация.** В статье рассматривается комплексная система оценки остаточного ресурса распределительных газопроводов, основанная на совмещении трех факторов: деградации металла труб, состояния изоляционных покрытий и особенностей эксплуатации внутридомовых участков. Показано, что традиционные подходы к оценке срока службы трубопроводов не обеспечивают требуемой точности, поскольку анализируют либо металл трубы, либо толщину стенки, игнорируя изоляцию и эксплуатационные особенности зданий. Предложена укрупненная модель, объединяющая механизмы старения металла, изменения свойств покрытий и техногенную нагрузку внутренних систем газоснабжения. Сделан вывод о необходимости многофакторного подхода для прогнозирования безопасного срока эксплуатации газораспределительных сетей.

**Ключевые слова:** газопровод, остаточный ресурс, деградация металла, изоляционное покрытие, внутренняя система газоснабжения, коррозия, срок службы.

**Введение.** Вопрос определения остаточного ресурса распределительных газопроводов является одним из ключевых направлений современного инженерного анализа трубопроводного транспорта. Повышение возраста газораспределительных сетей и растущие эксплуатационные нагрузки увеличивают вероятность отказов, что проявляется как в уличных участках трубопровода, так и во внутридомовых системах.

Исторически оценка срока службы газопроводов строилась на основании расчетов проектной толщины стенки и механической прочности труб. Такой подход применялся десятилетиями, однако современные исследования показывают, что техническое состояние трубопровода определяется не только утонением металла, но и структурным износом материала, потерей пластичности, развитием микротрещин, а также состоянием изоляционного покрытия, которое изолирует металл от агрессивных воздействий среды.

Кроме того, все больше внимания уделяется внутридомовым газопроводам, которые долгое время не рассматривались как источник ресурсных проблем. Однако именно они формируют дополнительный уровень риска, связанный с особенностями эксплуатации зданий: вибрациями, температурными колебаниями, нагрузками на сварные швы, а также человеческим фактором.

Таким образом, становится очевидно, что ресурс трубопровода – величина многокомпонентная, зависящая от структурных свойств металла, степени разрушения изоляции и условий эксплуатации внутренних систем. Применение односторонних подходов приводит к недооценке вероятности отказов и преждевременному выходу сети из строя.

Целью данной работы является изложение концепции интегрального подхода к оценке остаточного ресурса распределительных газопроводов, позволяющей объединить результаты анализа металла, покрытия и внутридомовых участков в единую инженерную модель.

**Основная часть.** Современные распределительные газопроводы в странах Европы, включая территорию Латвийской Республики, характеризуются значительной наработкой эксплуатационного ресурса. Сети, введенные в эксплуатацию во второй половине XX века, функционируют десятилетиями, и прогнозирование их остаточного срока службы становится ключевым инженерным вопросом. При этом ресурс газопровода нельзя оценивать лишь по толщине стенки или возрасту; он определяется совокупностью деградиционных процессов, включая старение металла, потерю защитных свойств изоляции, а также влияние внутренних сетей газоснабжения зданий.

Долговечность металла трубы связана с потерей механических свойств материала: со временем снижается ударная вязкость, изменяется структура стали, возникают микротрещины и очаги усталостного разрушения. Исследования показывают, что снижение прочности после длительного периода эксплуатации может достигать 20–40 %, а в отдельных случаях – более 50 % [3, 4]. Старение металла определяет критический момент, когда остаточный ресурс трубы становится недостаточным для безопасной эксплуатации при рабочем давлении.

С другой стороны, изоляционные покрытия газопроводов являются фактором, который определяет скорость коррозионного повреждения металла. Деградикация покрытия происходит вследствие старения, потери адгезии и механического износа. В практической эксплуатации отмечается, что большая часть сквозных коррозионных язв формируется на участках с нарушенными изоляционными слоями [5]. Повреждение покрытий приводит к росту подповерхностных очагов коррозии и неравномерному съедению металла трубы, что напрямую влияет на общее снижение ресурса газопровода.

Третий фактор – эксплуатация внутридомовых участков газопроводов. Несмотря на малую протяженность, именно они определяют уровень техногенной и бытовой безопасности. Внутренние газопроводы функционируют в условиях повышенной вибрации, температурных перепадов, ограниченной вентиляции, а также имеют значительно больше сварных соединений. Статистика аварийности подтверждает, что повреждения внутренних стояков и вводов в здания могут приводить к пожароопасным ситуациям и представляют собой отдельный вид риска [6].

Следовательно, оценка ресурса распределительных сетей должна сочетать анализ трех независимых направлений:

- 1) *металл трубы – ресурс несущей конструкции;*
- 2) *изоляция – степень защиты от коррозии;*
- 3) *внутридомовые участки – эксплуатационная надежность систем.*

Объединение этих факторов формирует интегральный подход. В обобщенном виде остаточный ресурс газопровода можно выразить через зависимость:

$$R = f(M, I, S, t),$$

где  $M$  – состояние металла;

$I$  – состояние изоляционного покрытия;

$S$  – характеристики внутридомовых участков;

$t$  – возраст эксплуатации.

Каждому параметру может быть присвоен весовой коэффициент, основанный на инженерной диагностике. Результирующее значение отражает вероятность отказа и ориентирует производителей работ на оптимизацию ремонтной стратегии.

Развитие диагностики газораспределительных сетей идет в сторону цифровизации. Мировая практика рассматривает применение машинного анализа данных, интеллектуальной классификации коррозионных дефектов и мониторинга внутренних параметров труб [7, 8].

Такой подход позволяет получать оценку ресурса не по средним значениям, а по конкретным участкам трассы газопровода, что значительно повышает точность прогнозирования.

Особое значение имеет переход к ресурсному управлению трубопроводами: замена и реконструкция должны планироваться не по календарному возрасту объектов, а по реальной остаточной прочности элементов системы.

Комплексный подход, объединяющий металл, изоляцию и внутридомовые факторы, позволяет:

- уменьшить вероятность аварий;
- оптимизировать объемы ремонта;
- снизить эксплуатационные затраты;
- повысить безопасность зданий;
- продлить срок эксплуатации трубопроводов.

Таким образом, современная инженерная оценка остаточного ресурса газопроводов должна базироваться на системном анализе трех направлений деградации. Применение разрозненных методик приводит к ошибочным решениям и недооценке рисков. Обобщенная модель, основанная на учете металла, изоляции и внутридомового состояния сетей, формирует основу для реализации ресурсного подхода и обновления стратегий технической эксплуатации распределительных газопроводов.

**Заключение.** Комплексный анализ остаточного ресурса газопроводов, основанный на учете трех взаимосвязанных факторов – металла трубы, состояния изоляционного покрытия и внутридомовой эксплуатации, позволяет повысить точность прогнозирования технического состояния трубопроводов. Унификация подхода обеспечивает гибкое применение методики как к крупным распределительным сетям, так и к локальным газопроводам зданий.

Ресурсный подход способствует развитию системного анализа, минимизации эксплуатационных рисков и формированию обоснованных решений для модернизации и продления срока службы трубопроводов. Представленная статья является концептуальной основой для научно-технических исследований в области оценки долговечности газовых сетей и может быть положена в основу инженерных работ, направленных на повышение безопасности эксплуатации газораспределительных систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ASME B31.8S–2018. Managing System Integrity of Gas Pipelines. – New York: ASME, 2018. – 178 p.
2. Бердашкевич В.В., Леонович И.А. Мониторинг технического состояния системы распределительных газопроводов Республики Беларусь // Научный журнал РГО. – 2024. – № 4(46). – С. 84–95.
3. Kuriyanova T.V., Kislitsyn D.I. Применение методов машинного обучения в строительстве // Проблемы информатики. – 2021. – № 1(50). – С. 25–35.
4. Zhang Y., Li H., Wang K. Machine learning applications in civil engineering // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 122. – P. 103490.
5. Wu D., Fang S., Zhang Y. Digital twins and machine learning for intelligent infrastructure monitoring // Engineering Structures. – 2023. – Vol. 287. – P. 115184.