

Научная статья
УДК 622.691.4
EDN HPRDZA

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ

Валентин Владиленович Бердашкевич¹, Игорь Александрович Леонович²
¹Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк, Республика Беларусь,
²Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, Москва, Российская Федерация
¹v.berdashkevich@psu.by
²leonovich.i@gubkin.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9054-1537>

Аннотация. Представлен краткий анализ технического состояния распределительных газопроводов Республики Беларусь. В работе выделены признаки и виды аварийности распределительных газопроводов, а также рассмотрены возможные меры по предотвращению и ликвидации аварий. Показано, что мониторинг показателей, характеризующих длительную надежность сетевых трубопроводов, должен реализовываться на этапе проектирования и строительства. Такой подход обеспечивает возможность точной оценки остаточного ресурса, оперативного и качественного проведения ремонтных и профилактических работ, что напрямую влияет на надежность и безопасность эксплуатации стареющих трубопроводов. Целью работы является оценка текущего технического состояния распределительных газопроводов Республики Беларусь и выявление оптимальных подходов к повышению

их надежности и безопасности в условиях прогрессивного старения. В ходе исследования было установлено, что распределительные газопроводы, эксплуатируемые в благоприятных условиях, демонстрируют минимальные изменения своих технических характеристик со временем, что позволяет обоснованно продлевать срок их эксплуатации. Определено, что продление срока эксплуатации может привести к повышению риска возникновения дефектов различного происхождения и реализации аварийных сценариев в будущем. Предложены меры по снижению указанных рисков за счет развития системы контроля и надзора за техническим состоянием стареющих распределительных газопроводов Республики Беларусь, определены необходимые изменения в действующую систему мониторинга технического состояния, реализованную в рамках государственной системы контроля и надзора.

Ключевые слова: распределительный газопровод, долговечность, срок службы, фактическое состояние, методы оценки, показатели механических свойств

Для цитирования: Бердашкевич В. В., Леонович И. А. Мониторинг технического состояния системы распределительных газопроводов Республики Беларусь и способы повышения их надежности // Научный журнал Российского газового общества. 2024. № 4(46). С. 84–95. EDN HPRDZA.

© Бердашкевич В. В., Леонович И. А., 2024

© Berdashkevich V. V., Leonovich I. A., 2024

Original article
UDC 622.691.4
EDN HPRDZA

MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE GAS DISTRIBUTION PIPELINE SYSTEM OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND WAYS TO IMPROVE THEIR RELIABILITY

Valentine V. Berdashkevich¹, Igor A. Leonovich²
¹Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus,
²Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia
¹v.berdashkevich@psu.by
²leonovich.i@gubkin.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9054-1537>

Abstract. A brief analysis of the technical condition of the distribution gas pipelines of the Republic of Belarus is presented. The paper highlights the signs and types of accidents of gas distribution pipelines, as well as considers possible measures to prevent and eliminate them. It is shown that monitoring of indicators characterizing the long-term reliability of network pipelines should be implemented at the design and construction stage. This approach provides an opportunity for an accurate assessment of the remaining life, prompt and high-quality repair and maintenance work, which directly affects the reliability and safety of operation of aging pipelines. The aim of the work is to assess the current technical condition of the distribution gas pipelines of the Republic of Belarus and identify optimal approaches to improving their reliability and

safety in conditions of their progressive aging. During the study, it was found that distribution gas pipelines operated under favorable conditions demonstrate minimal changes in their technical characteristics over time, which makes it possible to reasonably extend their service life. It is determined that extending the service life may lead to an increased risk of defects of various origins and the implementation of emergency scenarios in the future. Measures have been proposed to reduce these risks by developing a system of control and supervision over the technical condition of aging gas distribution pipelines of the Republic of Belarus, and the necessary changes to the current system of monitoring the technical condition implemented within the framework of the state control and supervision system have been identified.

Keywords: distribution gas pipeline, durability, service life, actual condition, assessment methods, indicators of mechanical properties

For citation: Berdashkevich V. V., Leonovich I. A. Monitoring of the technical condition of the gas distribution pipeline system of the Republic of Belarus and ways to improve their reliability. Scientific Journal of the Russian Gas Society. 2024;4(46):84-95. (In Russ.). EDN HPRDZA.

Введение
В рамках настоящего исследования авторы проанализировали существующие публикации и нормативно-технические документы по данной теме, произвели сбор и анализ статистической информации о состоянии распределительных газопроводов Республики Беларусь. Были рассмотрены признаки и виды аварийности, а также предложены меры для предотвращения

аварийных ситуаций. Одним из наиболее значимых аспектов обеспечения долговечности газопроводов является состояние изоляционного покрытия, которое постепенно утрачивает свои защитные свойства. Более 90% стальных трубопроводов Республики Беларусь покрыты устаревшими битумными материалами, срок службы которых не превышает 15 лет. В данной статье проводится анализ технического состояния

Таблица 1 – Система газоснабжения Республики Беларусь

Название элемента	Характеристика
Уровень газификации	98 %
Распределение по давлению	Общая протяженность: 65,5 тыс. км
Высокое давление: 4,5 %	
Среднее давление: 7,4 %	
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 тыс.
Потребители	Промышленные: 2,7 тыс.
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

распределительных газопроводов и предлагаются меры по улучшению их надежности и безопасности в условиях старения инфраструктуры.

Распределительные газопроводы

На 2024 год общая протяженность распределительных сетей природного газа в Республике Беларусь составляет около 65,5 тыс. км, из которых 35 тыс. км полиэтиленовых и 30,5 тыс. км стальных газопроводов. Эти сети ежегодно обеспечивают поставку 18–19 млрд м³ природного газа потребителям [1]. Характеристика текущего состояния системы газоснабжения Республики Беларусь на 2024 год представлена в **таблице 1**.

Газификация Республики Беларусь осуществляется с 6 ноября 1958 года. На текущий момент в Республике Беларусь эксплуатируется с превышением ранее применявшегося 40-летнего нормативного срока службы около 20 % стальных газопроводов. Признаков старения трубного металла, выраженных в ощутимом снижении его физико-механических свойств или деградации внутренней структуры, в газораспределительной системе страны не наблюдается [2]. На настоящем этапе возрастной фактор пока не относится к значимым, что подтверждается отсутствием случаев аварий, к причинам которых относится деградация свойств металла. Однако максимальный возраст распределительных газопроводов в Беларуси достигает 66 лет. Через 15 лет доля сетевых трубопроводов, чей возраст будет превышать 40 лет, превысит 50 %, а доля трубопроводов старше 60 лет – 15 %. На основе работ [3, 4] был выполнен анализ изменения протяженности распределительных газопроводов в Республике Беларусь (**рис. 1**), а также распределения газопроводов по сроку эксплуатации (**табл. 2**).

В то же время менее благополучная картина складывается при анализе технического состояния сетевых трубопроводов по другим факторам, в первую оче-



Рисунок 1 – Протяженность распределительных газопроводов природного газа в Республике Беларусь

Таблица 2 – Распределение протяженности распределительных трубопроводов в Республике Беларусь по времени эксплуатации

Длительность эксплуатации	Протяженность, км	% (от всей протяженности распределительных сетей природного газа в Республике Беларусь)
До 10 лет	11 801	18
От 10 до 20 лет	25 509	39
От 20 до 30 лет	14 436	22
Старше 30 лет	13 754	21

редь по состоянию изоляционного покрытия. С 2003 года при строительстве стальных подземных газопроводов применяются изоляционные покрытия на основе экструдированного полиэтилена и термоусаживающихся лент, но доля таких покрытий в общей массе не превышает 10 % [5], а остальная масса трубопроводов изолирована устаревшими битумно-мастичными и битумно-ленточными композициями, срок эффективной работы которых обычно не превышает 15 лет. В работах [5, 6] были проанализированы статистические данные обследования с 2009 по 2023 год 98,36 тыс. км распределительных газопроводов Республики Беларусь и выявлено 55,66 тыс. дефектов изоляционного покрытия всех видов. Средняя повреждаемость изоляции стальных подземных газопроводов составляет 0,55 деф./(км·год), а для газопроводов старше 40 лет – 0,73 деф./(км·год). В случаях наличия дефектов изоляции не идет речь о потере работоспособности (отказах) газопровода, а имеет место локальная потеря работоспособности вспомогательного элемента, в определенной мере снижающая эксплуатационно-технические характеристики газопровода [7].

В статье [6] исследуется техническое состояние распределительных газопроводов в Республике Беларусь с особым акцентом на изоляционные покрытия. Рассматриваются различные виды покрытий, используемых в Беларуси, включая традиционные битумные мастики и современные материалы, такие как экструдированный полиэтилен и термоусаживающиеся ленты. Проведен анализ плотности дефектов и повреждаемости для каждого типа покрытия. В статье также представлены результаты многолетнего мониторинга, которые показывают, что процесс образования дефектов в изоляции протекает с низкой интенсивностью даже на газопроводах с длительным сроком эксплуатации. Эти данные послужили основанием для пересмотра нормативного срока службы стальных газопроводов в сторону его увеличения с 40 лет. Авторы делают вывод, что термоусаживающиеся ленты демонстрируют лучшие изоляционные свойства по сравнению с другими материалами. Также были выявлены характерные дефекты битумных мастик, которые могут служить индикатором старения изоляции.

Важность учета коррозионного состояния сетевых трубопроводов и ведения мониторинга таких повреждений отмечается в работах других авторов, которые рассматривают проблемы эксплуатации протяженных сетевых газопроводов. Авторы [8] рассматривают проблемы коррозии трубопроводов в распределительных сетях газа в Африке, приводят подробный анализ механизмов коррозии, их влияния на надежность трубопроводов и потенциальных стратегий смягчения последствий. В исследовании также обсуждается эффективность различных методов мониторинга для обнаружения ранних признаков коррозии. Результаты исследования и предложенная система мониторинга применяются для повышения долговечности и безопасности распределительных газопроводов в регионах, подверженных проблемам, связанным с коррозией.

Исследование [9] фокусируется на надежности газораспределительных сетей в городских условиях. В работе используются передовые методы моделирования для прогнозирования возможных отказов и оценки влияния различных факторов, таких как старение инфраструктуры и условия окружающей среды, на целостность трубопроводов. В статье [10] представлен обзор последних технологических достижений в области мониторинга и обслуживания распределительных газопроводов. Освещаются такие инновации, как смарт-датчики, дроны и системы предиктивного обслуживания на основе искусственного интеллекта, которые могут значительно повысить точность и эффективность проверок трубопроводов. Применение этих технологий критически важно для обеспечения непрерывной и надежной работы газораспределительных сетей при снижении затрат на обслуживание и простои.

Методология

Комплекс мер для безопасной эксплуатации газораспределительной системы включает контроль технического состояния газопроводов, как указано на **рисунке 2**. Согласно действующим правилам промышленной безопасности в Республики Беларусь [11], необходимо оценивать состояние трубопроводов на основе обследований и в случае признания их ненадежными проводить диагностику для определения ресурса и сроков вывода из эксплуатации.

В статье [5] рассматриваются вопросы обеспечения полноты и достоверности эксплуатационных данных, получаемых в ходе такого приборного обследования стальных подземных газопроводов. Показано, что основной акцент сделан на диагностике состояния антикоррозийной защиты и использовании изоляционных покрытий. В статье [5] подчеркивается необходимость дальнейшего совершенствования информационной

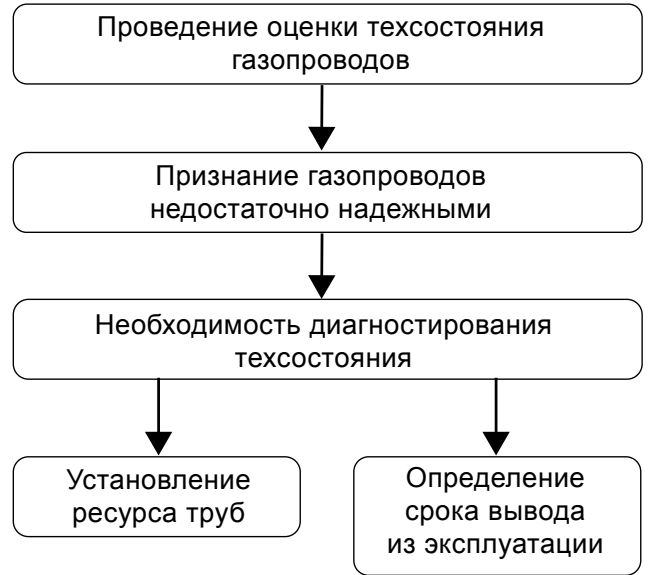


Рисунок 2 – Контроль технического состояния газопроводной системы Республики Беларусь

системы для того, чтобы быть готовыми к эксплуатации стареющей инфраструктуры, в которой доля дефектов коррозионного характера будет снижаться, а доля дефектов усталостного характера возрастать. Современные информационные системы, такие как «Мириада», «Панорама» и «Вершина», которые сейчас играют ключевую роль в мониторинге состояния газопроводов и позволяют своевременно выявлять потенциальные риски, требуют обновления и улучшения для эффективного управления дефектами разного типа.

Авторами было выявлено несколько основных способов, которые повышают надежность систем газоснабжения на современном этапе. Наиболее значимыми из них являются указанные в **таблице 3**.

Путь резервирования применяется при необходимости поддержания повышенного уровня надежности газоснабжающей системы по сравнению с уровнем надежности элементов.

Существует числовое выражение безотказности работы элементов, отработавших более срока службы, которое отображено в следующей формуле):

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

Такую вероятность можно назвать функцией надежности. Само по себе указанное выражение является критерием надежности работы элемента или целой системы. Так как распределительные системы газоснабжения относятся к сложным техническим системам, то и для показателя безотказности используется более сложный критерий – показатель качества функционирования. Он оценивает не только вероятность безотказной работы, но и учитывает дополнительные аспекты, такие как эффективность работы

системы, ее устойчивость к внешним воздействиям и способность поддерживать необходимый уровень эксплуатационных параметров в различных условиях. Разница между этими критериями заключается в том, что функция надежности рассматривает лишь вероятность безотказной работы, тогда как показатель качества функционирования включает в себя комплексную оценку надежности, эффективности и устойчивости системы в целом.

Функция надежности и показатель качества функционирования дают общую оценку надежности газоснабжающих систем, но в реальных условиях важно учитывать и такие аспекты, как возможность проведения ремонта. Поскольку газоснабжающие системы подлежат ремонту, для нашего исследования важно ввести еще один термин – «ремонтпригодность».

Ремонтпригодность выражается в свойстве системы газоснабжения к обнаружению и устранению неисправностей путем проведения техобслуживания и самого ремонта. При этом основным показателем такого свойства будет показатель времени восстановления отказавшего элемента, обозначаемого как P_{τ} .

В рамках нашего исследования важной характеристикой надежности газоснабжающей системы мы определили интенсивность отказов λ , которая количественно выражает вероятность отказа элемента, работавшего безотказно в течение времени t , к моменту dt .

В процессе разработки задачи по оценке надежности газовой схемы мы считаем первоочередным шагом определение показателя ее надежности. Это связано с тем, что существует вероятность отказа системы газоснабжения вследствие отказа отдельных элементов. В связи с этим мы видим необходимость в прогрессе в области проектирования газовых

Таблица 3 – Способы повышения надежности и их характеристика

№	Способы повышения надежности	Характеристика способа
1.	Модернизация и обновление оборудования	Использование новых материалов и технологий, которые обеспечивают большую долговечность и устойчивость к износу
2.	Резервирование систем	Внедрение резервных линий и оборудования, которые могут поддерживать работу системы в случае выхода из строя основной инфраструктуры
3.	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
4.	Повышение квалификации персонала	Регулярное обучение и повышение квалификации специалистов, работающих с газоснабжающими системами, для обеспечения их компетентности и способности эффективно реагировать на чрезвычайные ситуации
5.	Интеграция интеллектуальных систем	Использование цифровых технологий и искусственного интеллекта для оптимизации управления системами газоснабжения и предсказания возможных проблем
6.	Повышение уровня безопасности	Введение дополнительных мер безопасности, таких как установка газоанализаторов, систем автоматического отключения в случае утечек и других систем защиты

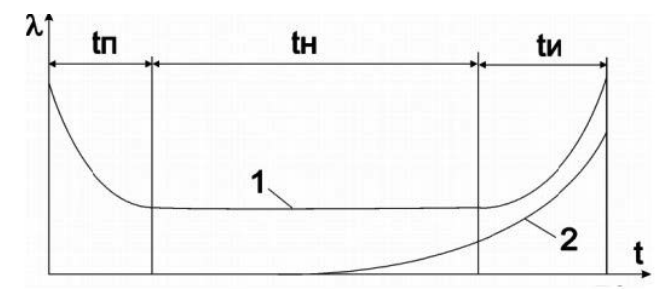


Рисунок 3 – График типичной зависимости интенсивности отказов объекта от времени эксплуатации. Зависимость интенсивности отказов объекта от времени эксплуатации: 1 – интенсивность отказов $\lambda(t)$; 2 – кривая старения; t_n – период приработки; t_n – нормальная работа; t_i – период износа

систем, что, в частности, включает разделение схемы на секции в зависимости от показателей надежности распределительных газопроводных систем.

Для более детальной оценки состояния газопровода мы предлагаем внедрить два метода анализа в соответствии с рекомендациями [12]. Первый метод основан на анализе статистических данных, а второй – на оценке остаточного ресурса, который определяется по степени коррозионного утончения стенок и изменениям механических свойств металла труб газопровода.

Подробно остановимся на методе анализа статистических данных. Надежность объекта в процессе эксплуатации можно проиллюстрировать графиком зависимости интенсивности отказов от времени использования объекта, приведенным на **рисунке 3**.

Функцию надежности в моменте, принимаемом за период износа, в соответствии с распределением Вейбулла [12] можно принять в следующем виде:

$$\lambda(t) = \lambda \alpha t^{\alpha-1},$$
 (2)

где α – параметр формы кривой распределения. Причем интенсивность отказов объекта в период износа мы представим следующей формулой:

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

Время продления ресурса в период износа обозначается по формуле:

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

Параметр формы кривой распределения α 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 $\alpha = 1,3$ [12].

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

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

где $\Delta n(t)$ – число отказавших элементов за промежуток времени Δt ; N_p – число работоспособных элементов на момент t .

Для учета элемента газоснабжающей системы мы принимаем в расчет длину газопроводной трубы, учитывая соотношение наружного диаметра и толщины стенки.

Параметр потока отказов для газопровода можно определить по следующей формуле:

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

где k_i – количество повреждений одного типа. Для измерения фактического технического состояния принимаются показатели надежности в течение пяти лет с момента начала эксплуатации и прогнозируемый срок службы.

Допустимость безопасной эксплуатации газопровода выявляется при условии, что рассчитанный срок службы составляет более пяти лет либо показатель надежности газопроводной сети через пять лет является значение выше планового (0,98). Это свидетельствует о том, что газопровод находится в хорошем техническом состоянии и вероятность возникновения аварийных ситуаций крайне низка. Значение 0,98 означает, что вероятность безотказной работы составляет 98 %, что является высоконадежным показателем.

Результаты

При эксплуатации распределительных газопроводов могут возникать различные виды повреждений, которые влияют на их работоспособность и безопасность.

Для эффективного устранения неисправностей предложено классифицировать и понимать основные типы повреждений, встречающихся на газопроводах, по следующим группам: повреждение изоляции трубы, трещины трубопровода, отключение арматуры, сквозные повреждения и разрыв сварного шва.

Метод оценки и определение остаточного ресурса особенно актуальны в свете возможности повреждения изоляции трубы, когда место повреждения совпадает с зоной коррозионно-активных грунтов. Такое совпадение подчеркивает, что изолирующие покрытия не обеспечивают абсолютную защиту, что делает необходимым регулярный мониторинг состояния труб и применение предложенных методов для более точной оценки их надежности и оставшегося ресурса.

Например, существует категория сквозных повреждений: они возникают в ходе комплекса случайных инцидентов, потому относятся к редким и случайным. Если при диагностике труб выявляют сквозные повреждения небольшого размера, то их локализуют

и восстанавливают трубы обычно в течение двух – четырех дней, а снижение давления происходит минимально, в период наименьшего потребления газа. Однако в случае крупного сквозного повреждения, то есть повреждения диаметром более 20 мм, участок газопровода отключают от системы газопровода, что приводит к внезапному отказу.

Разрыв сварного шва является серьезным повреждением, возникающим из-за дефектов сварки, увеличенной нагрузки на сеть или недостаточного качества проварки. При этом образуются кольцевые трещины по оси шва, а для устранения утечки газа аварийная служба вырезает поврежденный стык и производит ремонтные работы. Надежность газопроводной сети в таких случаях определяется схемой сети, а не диаметром трубы.

Авария газопровода также может возникнуть вследствие трещины трубы. При этом причинами возникновения такой трещины могут быть напряженно-деформированное состояние трубы, а в результате – пониженные прочностные характеристики газопровода.

В случаях, когда авария на газопроводе приводит к небольшим трещинам, аварийные мероприятия могут включать в себя лишь наложение бандажной системы. Схема ремонта представлена на рисунке 4.

В случаях отключения арматуры выявлено всего два основных вида повреждения. Первый предполагает использование задвижки как препятствия, нарушающего плотность перекрытия, и необходимость

отключения газопотребителей для качественного ремонта системы. При втором виде повреждений утечка происходит через устройство элементов газопроводной системы, через арматуру. Причем такой вид утечки может вызывать загазованность в бытовом плане, а если взглянуть на аварию с технической стороны, то мы выявим также нарушение герметичности сальников и трещины в корпусах.

На основании вышесказанного возникает возможность разделения всех элементов газопроводной сети на две группы:

1. Повреждение, при котором происходит отказ элемента, что требует отключения сети для ремонтных работ.
2. Мелкое повреждение, устранимое без снижения давления газа и отключения участка.

Отказы трубопровода также подразделяются на две категории: внезапные и постепенные. Внезапные отказы характеризуют серьезные повреждения, при которых необходимо полностью отключать участок газопровода для проведения ремонтных мероприятий, а постепенные – мелкие повреждения, при которых происходит локализация поврежденных участков и лишь снижение давления для минимального ремонта.

Анализ аварийности рациональнее производить с учетом показателя интенсивности аварий, то есть соотношения количества аварий к протяженности газопровода. А при учете соотношения числа аварий

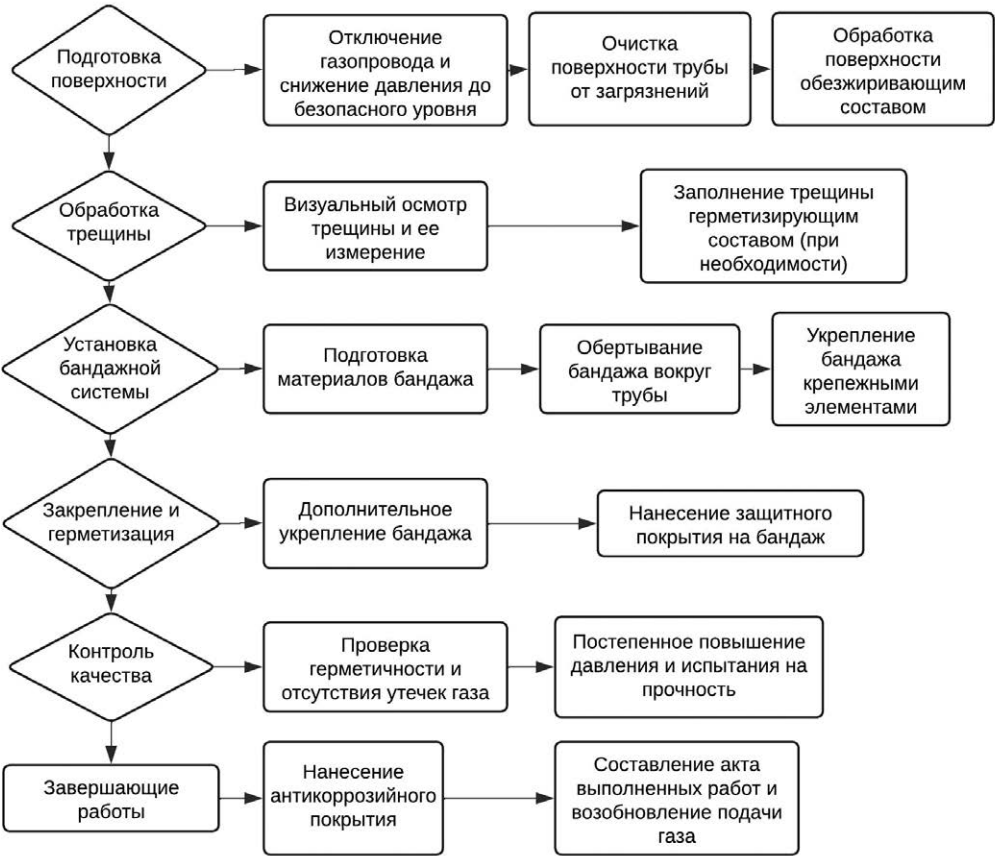


Рисунок 4 – Схема ремонта при наложении бандажной системы

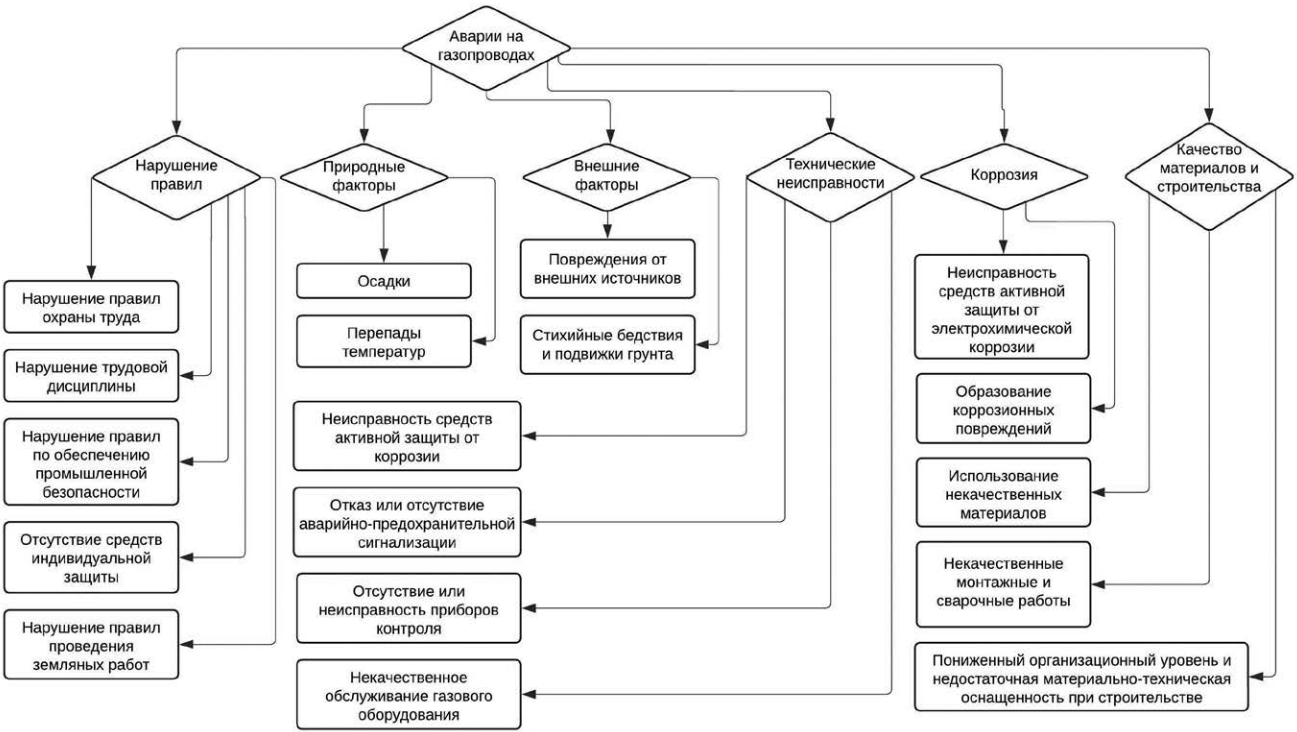


Рисунок 5 – Схема причин аварийности на распределительных газопроводах

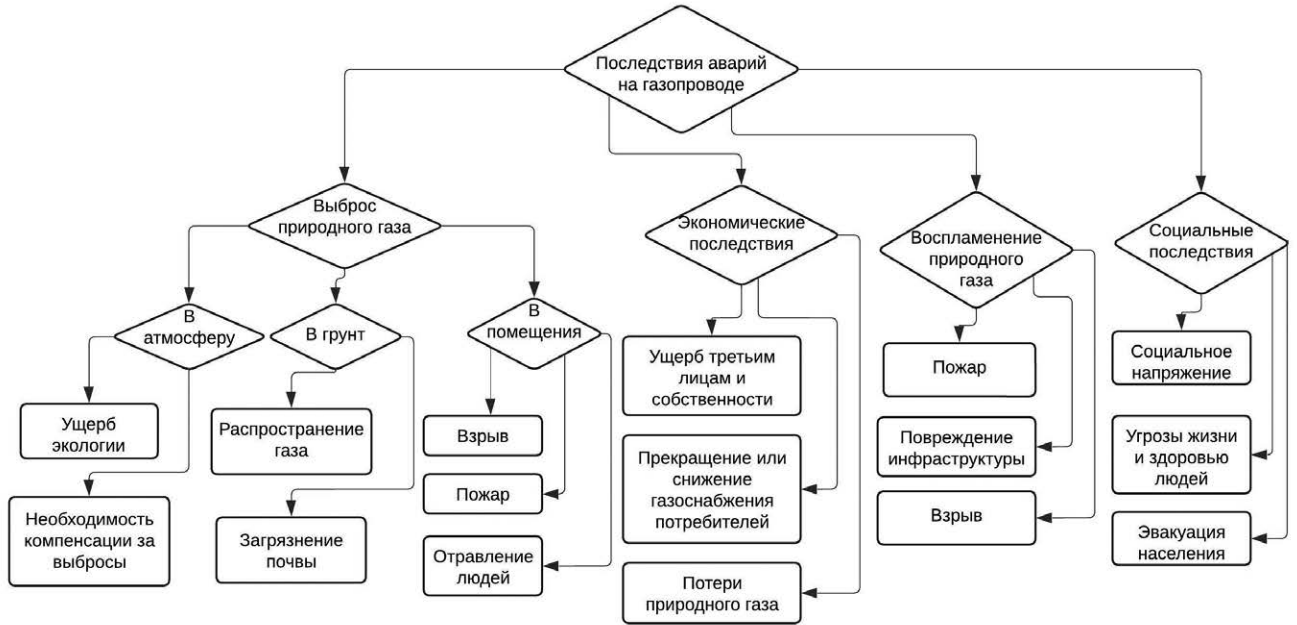


Рисунок 6 – Схема последствий аварий на газопроводе

к периоду времени мы можем получить недостоверные сведения, приводящие к нерациональным расчетам, так как с течением времени могут возникать новые участки газопроводного пути.

Рассмотрены причины аварийности на распределительных газопроводах (рис. 5).

Выявлено, что аварии на распределительных газопроводах преимущественно возникают вследствие следующих причин: нарушение свода правил, природные факторы, внешние факторы, техниче-

ские неисправности, коррозии различных типов, использование некачественных материалов при строительстве. Следствием аварии на распределительном газопроводе являются выбросы природного газа в атмосферу, воспламенение с последующим горением или распространение газа в грунт либо помещения. Схема последствий аварий представлена на рисунке 6.

По результатам выявления причин аварий мероприятиями разрабатываются и применяются в работе

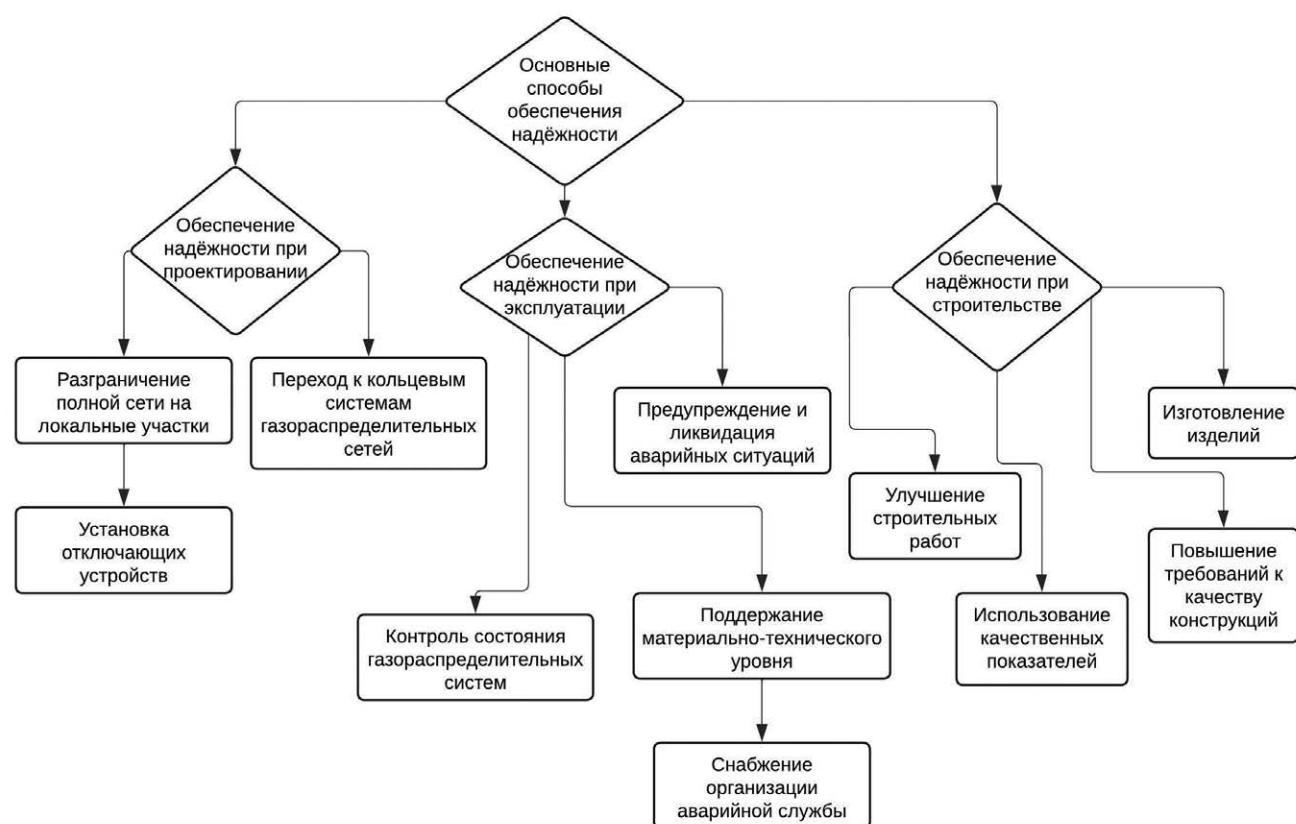


Рисунок 7 – Основные способы обеспечения надежности

типовые рекомендации для обеспечения промышленной безопасности при проведении строительных и ремонтных работ.

Для четкой и слаженной работы газораспределительной системы должна быть обеспечена надежность, безопасность и эффективность. При этом под надежностью газовой системы понимается обеспечение транспортировки необходимого объема природного газа абонентам в течение некоторого периода времени.

Авторы предлагают разработать и внедрить модели машинного обучения, которые на основе данных о предыдущих инцидентах, дефектах и эксплуатационных параметрах смогут предсказывать потенциальные аварии. Эти модели позволят оценивать риск возникновения аварий на различных участках газопровода с учетом возраста инфраструктуры, условий эксплуатации и наличия дефектов.

Для обеспечения повышения надежности можно выделить несколько основных способов, которые следует классифицировать по следующим группам (рис. 7) [14]:

1. Обеспечение надежности при проектировании.
2. Обеспечение надежности при строительстве.
3. Обеспечение надежности при эксплуатации.

Резервирование газа в трубопроводе ограничено около 3% от максимального часового расхода, что не позволяет использовать емкость сети для повышения надежности. Аварийные ситуации могут возникать из-за отказов элементов сети или перегрузок, что приводит

к снижению пропускной способности и отказу системы. Для профилактики отказов гидравлический режим рассчитывается в нормальном и аварийном состояниях. Чтобы снизить риск отказов, можно увеличивать диаметры труб и секционировать сеть. Также при проектировании важно предусмотреть антикоррозионную защиту для обеспечения надежности и безопасности.

Газопроводы любого срока службы имеют необходимость в техобслуживании, совершаемом в соответствии с внутренними инструкциями. Такое обслуживание включает в себя содержание газопроводов и газопроводных сооружений в состоянии, которое позволяет обеспечивать бесперебойную деятельность по снабжению потребителей необходимым количеством природного газа, и поддержание условий безопасной работы при эксплуатации систем.

Организация, занимающаяся строительством и монтажом газопроводной системы, обязана проводить проверку грунта на предмет его эрозии или просадки, а также осуществлять контроль над самими проводимыми работами в зоне прокладки сетей. Реализация контроля проявляется в обходе газовых сетей, причем такие обходы должны выполняться в сроки, при которых можно обеспечить надежность работы элементов газовой сети. Обход обычно выполняется слесарями и осуществляется по маршруту, указанному в специальной маршрутной карте.

Помимо обеспечения надежности при строительстве, в настоящее время все большее распростране-

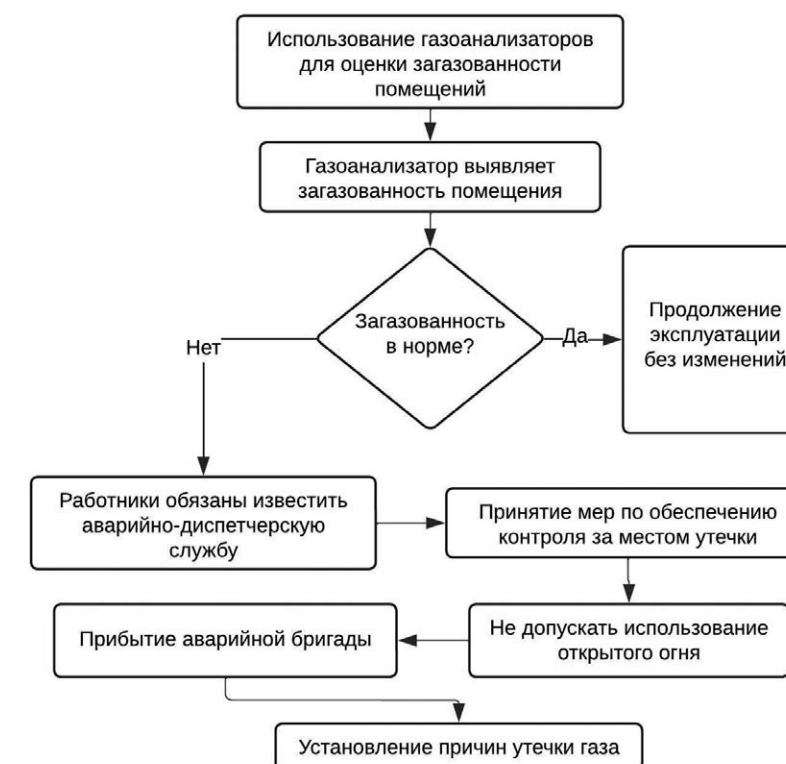


Рисунок 8 – Схема использования газоанализаторов для оценки загазованности помещений

ние получает использование при эксплуатации газоанализаторов. Схема использования газоанализаторов для оценки загазованности помещений представлена на рисунке 8.

Использование смарт-датчиков в жилых зданиях, подключенных к общей системе мониторинга газопроводов, позволит мгновенно обнаруживать утечки внутри зданий и вблизи распределительных сетей. Искусственный интеллект, анализируя данные, может направлять аварийные службы на точные координаты утечки, сокращая время реакции.

Существует сложность в выявлении утечки газа из подземных газопроводов. Это обусловлено недоступностью газопровода для проведения диагностики и ремонта. Такой фактор значительно усложняет инженерную деятельность, а значит, поиск утечки предполагает точное знание устройства сети для выявления наиболее вероятных мест утечки газа. Для такого знания должны быть разработаны подробные карты с обозначением всех стыков и прочих элементов газовой сети.

Обсуждение

Несмотря на текущий низкий уровень аварийности сетевых трубопроводов, они представляют собой прогрессивно стареющую систему, риск развития аварий и инцидентов на которой постоянно и нелинейно возрастает. В связи с этим авторами предложено усовершенствовать и доработать программные комплексы мониторинга и диагностики сетевых газопроводов для своевременного выявления ри-

сков и повышения уровня готовности эксплуатирующих организаций к эксплуатации стареющей газовой инфраструктуры. Такие комплексы мероприятий будут включать в том числе использование инструментов искусственного интеллекта, предназначенных для машинного анализа значительного массива данных о техническом состоянии, базы данных дефектов и построения многовариантных вероятностных моделей технического состояния конкретного участка трубопровода, а результаты производимых работ в последующем будут внедрены в действующую и разрабатываемую нормативно-техническую документацию: к примеру, в рамках модернизации Правил по обеспечению промышленной безопасности в области газоснабжения [11].

Заключение

Аварийность в распределительных газопроводах приводит не только к экономическим потерям и экологическому ущербу, но и к гибели и травмированию людей, что подчеркивает важность повышения надежности и безаварийности их работы. С увеличением доли стареющих газопроводов в Беларуси требуется своевременное принятие мер по мониторингу их ухудшающегося технического состояния. Анализ дефектов изоляционного покрытия показывает возрастание повреждений по мере старения газопроводов, особенно интенсивно для трубопроводов старше 40 лет.

Список источников

1. Бердашкевич В. В., Леонович И. А., Янушонок А. Н. Разработка методов оценки долговечности распределительных газопроводов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2023. № 6(138). С. 85–95. DOI: 10.33285/1999-6934-2023-6(138)-85-95.

2. Андриевский А. П., Штемпель О. П., Янушонок А. Н., Чухнов А. А. О возможности продления срока службы труб распределительных газопроводов с учетом изменений их структуры и основных механических свойств // Энергетическая стратегия. 2022. № 4. С. 32–35.

3. Рудинский Л. И. Тезисы выступления генерального директора ГПО «Белтопгаз» на пресс-конференции в Доме прессы 5 апреля 2018 г. URL: https://www.topgas.by/content/news/511__tezisy-vystupleniya-l-i-rudinskogo-na-press-konferentsii-v-dome-pressy-5-aprelya-2018-g/.

4. Постановление Министерства энергетики Республики Беларусь от 31 декабря 2020 года № 48. Программа комплексной модернизации производств газовой сферы на 2021–2025 годы.

5. Струцкий Н. В., Романюк В. Н. Некоторые вопросы обеспечения полноты и достоверности эксплуатационных данных, получаемых в ходе приборного обследования стальных подземных газопроводов // Наука и техника. 2024. № 23(1). С. 58–66. DOI: 10.21122/2227-1031-2024-23-1-58-66.

6. Романюк В. Н., Струцкий Н. В. Применяемые изоляционные покрытия распределительных газопроводов в Республике Беларусь и их характеристика // Наука и техника. 2023. № 22(4). С. 308–316. DOI: 10.21122/2227-1031-2023-22-4-308-316.

7. Романюк В. Н., Струцкий Н. В. Оценка общего уровня повреждаемости изоляционных покрытий стальных подземных распределительных газопроводов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2022. № 14. С. 71–77. DOI: 10.52928/2070-1683-2022-32-14-71-77.

8. Мусса М. Д. И., Айбину А. М., Абдуррахман А., Шобовале К. О., Чикези А. Дж. Система мониторинга интеллектуальных трубопроводов: обзор // Международная конференция по энергетике, электроснабжению, окружающей среде, управлению и вычислениям 2023 (ICEPECC). Гуджрат, Пакистан, 2023. С. 1–6. DOI: 10.1109/ICEPECC57281.2023.10209506.

9. Ли Дж., Ян М., Ю Дж. Оценка надежности газоснабжения городской газопроводной сети // Эксплуатация и независимость – Техническое обслуживание и надежность. 2018. Т. 20, № 3. С. 471–477. DOI: 10.17531/ein.2018.3.17.

10. Аль-Харам А., Аль-Мансури Э., Эльмадени У., Альноями Х. Инспекция трубопроводов в реальном времени на основе ИИ с использованием дронов для нефтегазовой промышленности в Бахрейне // Международная конференция по инновациям и интеллекту для информатики, вычислений и технологий 2020 (3ICT). Сахир, Бахрейн, 2020. С. 1–5. DOI: 10.1109/3ICT51146.2020.9312021.

11. Об утверждении Правил по обеспечению промышленной безопасности в области газоснабжения: постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 5 декабря 2022 г. № 66 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. 2023. 10 марта (№ 8/39537). URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W22339537p>.

12. Абразовский А. А., Савастиенок 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.

13. Терешкин А. А. Анализ аварийности на сетях газораспределения // Вестник магистратуры. 2021. № 5–6(116). С. 63–65.

14. Жила В. А., Гусарова Е. А., Гулюкин М. Д. Способы повышения надежности систем газораспределения в городском строительстве // Инновации и инвестиции. 2017. № 11. С. 139–142.

References

1. Berdashkevich V. V., Leonovich I. A., Yanushonok A. N. Development of methods for assessing the durability of distribution gas pipelines // Equipment and technologies for the oil and gas complex. 2023. No. 6(138). P. 85–95. DOI: 10.33285/1999-6934-2023-6(138)-85-95. (In Russ).

2. Andrievsky A. P., Shtempel O. P., Yanushonok A. N., Chukhnov A. A. On the possibility of extending the service life of pipes of distribution gas pipelines, taking into account changes in their structure and basic mechanical properties // Energy Strategy. 2022. No. 4. P. 32–35. (In Russ).

3. Rudinsky L. I. Abstracts of the speech of the General Director of GPO Beltopgaz at a press conference at the Press House on April 5, 2018. URL: https://www.topgas.by/content/news/511__tezisy-vystupleniya-l-i-rudinskogo-na-press-konferentsii-v-dome-pressy-5-aprelya-2018-g/. (In Russ).

4. Resolution of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus No. 48 dated December 31, 2020. The program of comprehensive modernization of gas production for 2021–2025. (In Russ).

5. Strutsky N. V., Romanyuk V. N. Some issues of ensuring the completeness and reliability of operational data obtained during the instrument survey of steel underground gas pipelines // Science and technology. 2024. No. 23(1). P. 58–66. DOI: 10.21122/2227-1031-2024-23-1-58-66. (In Russ).

6. Romanyuk V. N., Strutsky N. V. Applied insulating coatings of gas distribution pipelines in the Republic of Belarus and their characteristics // Science and technology. 2023. No. 22(4). P. 308–316. DOI: 10.21122/2227-1031-2023-22-4-308-316. (In Russ).

7. Romanyuk V. N., Strutsky N. V. Assessment of the general level of damage to insulating coatings of steel underground gas distribution pipelines // Bulletin of the Polotsk State University. Series F. Construction. Applied sciences. 2022. No. 14. P. 71–77. DOI: 10.52928/2070-1683-2022-32-14-71-77. (In Russ).

8. Moussa M. D. I., Aibinu A. M., Abdurrahman A., Shobowale K. O., Chikese A. J. Intelligent Pipeline Monitoring System: an overview // International Conference on Energy, Electricity, Environment, Management and Computing 2023 (ICEPECC). Gujrat, Pakistan, 2023. P. 1–6. DOI: 10.1109/ICEPECC57281.2023.10209506.

9. Lee J., Yang M., Yu J. Assessment of the reliability of gas supply to the urban gas pipeline network // Operation and independence – Maintenance and reliability. 2018. Vol. 20, No. 3. P. 471–477. DOI: 10.17531/ein.2018.3.17.

10. Al-Haram A., Al-Mansouri E., Elmadeni U., Alnoyami H. Real-time AI-based pipeline inspection using drones for the Oil and Gas Industry in Bahrain // International Conference on Innovation and Intelligence for Computer Science, Computing and Technology 2020 (3ICT). Sahr, Bahrain, 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/3ICT51146.2020.9312021.

11. On approval of the Rules for ensuring industrial safety in the field of gas supply: Resolution of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus No. 66 dated December 5, 2022 // National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus. 2023. March 10 (No. 8/39537). URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W22339537p>. (In Russ).

12. Abrazovsky A. A., Savastienok A. Ya., Gorichenko S. F. Assessment of the technical condition of the distribution steel underground gas pipeline according to statistical data // Energetika Belorusskaya – 2023: Sat. mat. Republican Scientific and Practical Conference, Minsk, May 25–26, 2023. Minsk: Belarusian National Technical University Univ., 2023. P. 138–141. (In Russ).

13. Tereshkin A. A. Accident analysis on gas distribution networks // Bulletin of the Magistracy. 2021. No. 5–6 (116). P. 63–65. (In Russ).

14. Zhila V. A., Gusarova E. A., Gulyukin M. D. Ways to improve the reliability of gas distribution systems in urban construction // Innovations and investments. 2017. No. 11. P. 139–142. (In Russ).

Информация об авторах

Валентин Владиленович Бердашкевич, ассистент кафедры трубопроводного транспорта и гидравлики
Игорь Александрович Леонович, кандидат технических наук, доцент, начальник управления организации подготовки научно-педагогических кадров и кадров высшей квалификации

Information about the authors

Valentine V. Berdashkevich, assistant at the department of pipeline transport and hydraulics
Igor A. Leonovich, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department for the organization of training of scientific and pedagogical personnel and highly qualified personnel of the highest qualification

Статья поступила в редакцию 26.08.2024; одобрена после рецензирования 01.11.2024; принята к публикации 07.11.2024.
The article was submitted 26.08.2024; approved after reviewing 01.11.2024; accepted for publication 07.11.2024.