

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ/HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING**DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.77.4>

EDN: EXVHWA

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СТАЛЬНЫХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Научная статья

Филатова Е.Б.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-5498-5595;¹ Самарский государственный технический университет, Самара, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ele51763539[at]yandex.ru)

Предложена: 20.08.2026; Принята: 21.09.2026; Опубликовано: 21.10.2026

Аннотация

Стабильное газоснабжение потребителей и поддержание функциональной устойчивости подземных газопроводов — одна из центральных эксплуатационных задач газотранспортной инфраструктуры. В работе изложена методика построения математической модели, позволяющей прогнозировать вероятность безотказной работы подземных стальных газопроводов в условиях многолетней эксплуатации, сопровождающейся деградацией механических характеристик материала. В результате получен комплексный показатель надежности газораспределительных сетей, который интегрирует как внезапные отказы, так и постепенные нарушения работоспособности, обусловленные износом и старением отдельных компонентов систем. Данный подход обеспечивает более достоверную оценку остаточного ресурса трубопроводов и повышает обоснованность управленческих решений по поддержанию работоспособности сети.

Ключевые слова: надежность стальных газопроводов, внезапные отказы, постепенные отказы, деградация свойств стали, полиномиальная модель.

A MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF STEEL GAS DISTRIBUTION SYSTEMS

Research article

Filatova E.B.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-5498-5595;¹ Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

* Corresponding author (ele51763539[at]yandex.ru)

Suggested: 20.08.2026; Accepted: 21.09.2026; Published: 21.10.2026

Abstract

Ensuring a stable gas supply to consumers and maintaining the operational reliability of underground gas pipelines is one of the key operational objectives of the gas transmission infrastructure. The work sets out a methodology for constructing a mathematical model that makes it possible to predict the probability of trouble-free operation of underground ceiling gas pipelines under conditions of long-term operation, accompanied by the degradation of the material's mechanical properties. As a result, a complex indicator of the reliability of gas distribution networks has been derived, which incorporates both sudden failures and gradual performance degradation caused by wear and ageing of individual system components. This approach provides a more accurate assessment of the remaining service life of pipelines and enhances the reliability of management decisions regarding the maintenance of the network's operational capability.

Keywords: reliability of steel gas pipelines, sudden failures, gradual failures, degradation of steel properties, polynomial model.

Введение

Современные условия диктуют новую стратегическую задачу перед газовой отраслью России: изменить фокус с исключительно добывающего профиля на комплексное управление транспортной инфраструктурой. Ключевой приоритет смещается в сторону эксплуатации газопроводов — обеспечения их надежности, оптимизации логистики и технологического обновления. Этот поворот обусловлен необходимостью компенсировать волатильность экспортных рынков за счет развития внутреннего спроса, а также вызовами, связанными с санкционным давлением и необходимостью ускоренного импортозамещения оборудования. В этих условиях именно эффективная и безопасная эксплуатация магистральных и распределительных сетей становится системообразующим фактором устойчивого развития отрасли [11].

Несмотря на активное распространение полиэтиленовых трубопроводов, основу газотранспортной системы по-прежнему составляют стальные газопроводы. В действующем фонде сохраняется высокая доля стальных газораспределительных сетей давлением до 1,2 МПа (порядка 60–65%), а для магистральных сетей при давлении свыше 1,2 МПа нормативные требования [1], [2], [3] исключают применение полиэтилена из-за ограничений по несущей способности материала. Критическим фактором текущей ситуации выступает вынужденный вывод части абонентов из системы в ходе аварийно-восстановительных мероприятий. Процедура повторного подключения нередко

растягивается на продолжительное время и сопряжена с существенными финансовыми издержками. Таким образом, особую актуальность приобретает задача заблаговременного прогнозирования надежности действующих газовых сетей — оценка вероятности безотказной работы становится приоритетным направлением для минимизации рисков перебоев и оптимизации эксплуатационных расходов.

Целью данного исследования являлась разработка математической модели, обеспечивающей достоверную оценку и прогноз надежности стальных подземных газопроводов при многолетней эксплуатации. Научная новизна определяется тем, что предложенный показатель надежности газовых сетей позволяет учитывать совокупное влияние различных типов отказов, обусловленных как сроком службы объекта, так и конкретными условиями его эксплуатации.

Основные результаты

На базе статистической выборки по авариям на подземных стальных газопроводах за 2017–2022 годы выполнен системный анализ причин отказов [4]. Результаты показывают, что доминирующим фактором выхода из строя элементов сети — включая трубопроводы и запорно-регулирующую арматуру с различной наработкой — является формирование и прогрессирование трещиноподобных дефектов. Ключевым механизмом, инициирующим такие повреждения, выступает деградация металла вследствие эксплуатационного старения: со временем изменяются структурные и механические характеристики материала, снижается сопротивление хрупкому разрушению и возрастает склонность к зарождению трещин. С учетом этого при оценке надежности газораспределительных сетей требуется применять двухкомпонентную модель отказов. Первая составляющая охватывает внезапные отказы, которые носят стохастический характер и характеризуются условно постоянной интенсивностью. Вторая составляющая отражает постепенное снижение работоспособности из-за износа и старения материала — этот тип отказов имеет выраженную зависимость от срока эксплуатации и накопленных повреждений.

Вопрос надежности газовой сети при учете только внезапных отказов получил наиболее полную трактовку в работах А.А. Ионина [5]:

$$R(t) = 1 - \left(1 - e^{-\sum \omega_i t}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i \omega_i}{Q_0 \sum \omega_i}, \quad (1)$$

где Q_0 — газовая нагрузка сети, м³/ч;

ΔQ_i — недоподача газа потребителям при рассматриваемом типе отказа, м³/ч;

ω_i — поток отказа элемента сети, 1/год;

t — время эксплуатации, лет.

При этом расчетные значения потоков отказа элементов сетей принимаются как средние, полученные на основе статистических данных повреждений на газопроводах с 1998 по 2006 годы [6].

Ключевым проявлением явления старения металла в стальных газопроводных системах служат снижение пластичности и падение ударной вязкости, которые напрямую определяют склонность труб к хрупкому разрушению и, как следствие, лимитируют остаточный ресурс газопровода [7]. При этом изменение указанных характеристик — не изолированные эффекты, а взаимосвязанные проявления единого структурно-деструктивного процесса, усиливающие друг друга. Характер деградаций в трубных сталях (преимущественно малоуглеродистых и низколегированных) зависит как от марки стали, так и от условий эксплуатации: температуры и уровня рабочих напряжений, возникающих в стенках трубопровода в зависимости от избыточного давления транспортируемой среды.

Для определения динамики механических свойств металла труб с учетом старения применялись зависимости, приведенные в [8]. Расчет изменения пластичности и снижения трещиностойкости (ударной вязкости) в зависимости от времени эксплуатации, температуры грунта и давления газа в трубопроводе производился соответственно по формулам (2) и (3).

$$\varphi(t) = \frac{\sigma_{T0} + ct + et^2}{\sigma_{B0} + at + bt^2} + (\alpha_T T + b_T + c_T t) \cdot (T - 20) + 0,000625 \cdot t \cdot (p - 1, 2), \quad (2)$$

$$a_H(t) = \begin{cases} (\gamma t^2 + \eta t + a_{H0}) + (n_T T + m_T + u_T t) \cdot (T - 20) - 0,08867 \cdot t \cdot (p - 1, 2), & 0 \leq t < 5, \\ \mu \cdot \exp(-(\lambda t + \beta t^3)) + (n_T T + m_T + u_T t) \cdot (T - 20) - 0,08867 \cdot t \cdot (p - 1, 2), & t \geq 5, \end{cases} \quad (3)$$

где σ_{T0} и σ_{B0} — предел текучести и временное сопротивление (предел прочности) металла труб, МПа;

c, e, α, b — параметры, отражающие процесс старения и зависящие от типа стали;

α_T, b_T, c_T — параметры, учитывающие влияние температуры на пластичность и зависящие от типа стали;

t — время эксплуатации трубопровода, лет;

T — среднегодовая температура грунта на уровне заложения газопровода, °С;

p — давление транспортируемого по трубопроводу газа, МПа;

a_{H0} — ударная вязкость металла труб в начале эксплуатации, Дж/см²;

$\gamma, \eta, \mu, \lambda, \beta$ — параметры, отражающие процесс старения относительно исходного значения ударной вязкости и зависящие от типа стали;

n_T, m_T, u_T — параметры, учитывающие влияние температуры на ударную вязкость и зависящие от типа стали.

Рост отношения предела текучести к пределу прочности (временному сопротивлению) и уменьшение ударной вязкости металла приводит к снижению вероятности безотказной работы, определяемой как [9]:

$$P(t)_1 = 1 - \frac{|\varphi(t) - \varphi_0|}{\varphi_0}, \quad (4)$$

$$P(t)_2 = 1 - \frac{|a(t) - a_{H0}|}{a_{H0}}, \quad (5)$$

где $\varphi(t)$ — пластичность металла в рассматриваемый период времени;

φ_0 — пластичность металла в начале эксплуатации, определяемая как отношение предела текучести к пределу прочности;

$a(t)$ и a_{H0} — ударная вязкость металла в рассматриваемый период времени и в начале эксплуатации, Дж/см².

Надежность стальных элементов систем газоснабжения с учетом деградационных процессов металла носит вероятностный характер и будет равна:

$$P(t) = P(t)_1 + P(t)_2 - P(t)_1 \cdot P(t)_2 \quad (6)$$

На основании приведенных зависимостей (2)-(6) была выполнена оценка надежности стальных газопроводов для временного интервала эксплуатации 0-50 лет с шагом в 1 год при эксплуатационных режимах, охватывающих температуры грунта от -10 до +20°C и давления газа от 0,001 до 5 МПа. При этом рассматривались различные марки трубных сталей, условно объединенные в две группы (группа I и группа II) по близости механических свойств. В группу I вошли Ст3 и Ст4 гр. В, сталь 20, во II — Ст2 гр. В, сталь 10 [10]. Анализ полученных данных позволил выявить полиномиальную зависимость 3-й степени, отражающую нелинейную кинетику накопления повреждений: начальный этап с относительно медленным снижением надежности, последующее ускорение деградации за счет роста дефектов и возможного замедления темпов при насыщении поврежденного состояния.

Следовательно, надежность стальных подземных газопроводов, связанная с постепенными отказами в процессе старения, описывается линейной по параметрам регрессионной моделью:

$$P(t)_{\text{мод}} = \sum_{j=0}^{28} k_j \cdot z_j(t, p, T, is_B), \quad (7)$$

где k_j — коэффициенты регрессии;

z_j — предикторы, включающие полиномиальные члены по сроку эксплуатации t , их взаимодействия с давлением p и температурой T , а также фиктивную переменную стали is_B и соответствующие взаимодействия.

Коэффициенты k_j оценены методом наименьших квадратов по выборке объемом 2856 значений. Статистическая адекватность модели подтверждена высоким значением коэффициента детерминации $R^2 = 0,994$ и значимостью F-критерия.

Для упрощения практического применения модели и повышения ее устойчивости проведена дополнительная процедура отбора предикторов: незначимые коэффициенты были исключены из модели (приняты равными нулю), а остальные округлены до технически обоснованного количества знаков. В результате значения коэффициента детерминации снизилось до 0,972. Такое снижение объясняющей способности является допустимым, поскольку обусловлено исключением шумовых эффектов и не приводит к потере статистической значимости модели (средняя статистическая ошибка составила 0,0025%, что много меньше 5%, значение F-статистики $F = 24341$, $p \ll 0,001$ при уровне значимости критерия Фишера $\alpha = 0,05$). Полученная единая модель (8) для сталей групп I и II сохраняет высокую прогностическую способность и пригодна для инженерных расчетов. Если сталь принадлежит к группе I, то $is_B = 0$ и все слагаемые, содержащие фиктивную переменную, обнуляются. Если сталь принадлежит к группе II, то $is_B = 1$ и добавляются поправки на данную группу стали.

$$\begin{aligned} P(t)_{\text{мод}} = & 0,998 - 2 \cdot 10^{-4}t + 3 \cdot 10^{-5}t^2 - 7 \cdot 10^{-7}t^3 + 3 \cdot 10^{-5}(t \cdot T) - \\ & - 10^{-5}(t^2 \cdot p) - 1,5 \cdot 10^{-6}(t^2 \cdot T) - 4 \cdot 10^{-7}(t^2 \cdot p \cdot T) + 1,7 \cdot 10^{-8}(t^3 \cdot T) - \\ & - 2 \cdot 10^{-4}(t \cdot is_B) + 1,6 \cdot 10^{-4}(t \cdot is_B \cdot p) - 4 \cdot 10^{-5}(t \cdot is_B \cdot p \cdot T) + \\ & + 2 \cdot 10^{-5}(t^2 \cdot is_B) - 11,5 \cdot 10^{-5}(t^2 \cdot is_B \cdot p) + 1,5 \cdot 10^{-6}(t^2 \cdot is_B \cdot p \cdot T) - \\ & - 7 \cdot 10^{-7}(t^3 \cdot is_B) + 1,5 \cdot 10^{-6}(t^3 \cdot is_B \cdot p) - 2 \cdot 10^{-8}(t^3 \cdot is_B \cdot p \cdot T). \end{aligned} \quad (8)$$

Комплексная модель надежности, учитывающая тип стали, реальные условия эксплуатации газопроводов и наличие двух типов отказов: внезапных и постепенных, примет вид:

$$P(t)_{\text{компл}} = R(t) \cdot P(t)_{\text{мод}}. \quad (9)$$

Представленная модель полностью удовлетворяет не только статистической значимости и высокой точности аппроксимации, но и корректно отображает физический процесс изменения надежности стальных газораспределительных систем: обеспечивает монотонное снижение, учитывает совместное влияние давления газа, температуры грунта и срока службы в зависимости от типа трубной стали и при их любых комбинациях ограничивается диапазоном [0;1].

Заключение

В результате проведенного исследования была разработана многофакторная математическая модель комплексной оценки надежности стальных подземных газораспределительных систем, дающая возможность адекватно отразить нелинейный характер накопления повреждений и вероятность внезапных отказов.

При практической реализации данный подход повышает достоверность оценки остаточного ресурса газотранспортной инфраструктуры и обеспечивает обоснованность выбора управленческих решений по поддержанию сетей в работоспособном состоянии.

**Конфликт интересов**

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. ГОСТ Р 58121.2-2018 (ИСО 4437-2:2014). Пластмассовые трубопроводы для транспортирования газообразного топлива. Полиэтилен (ПЭ). Часть 2. Трубы : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 мая 2018 г. № 297-ст : (редакция от 26 марта 2024 г.). — Москва : Стандартинформ, 2018. — IV, 39 с.
2. ГОСТ 34715.1-2021. Системы газораспределительные. Проектирование, строительство и ликвидация сетей газораспределения природного газа. Часть 1. Полиэтиленовые газопроводы : межгосударственный стандарт : введен впервые : дата введения 2021-12-01 / разработан АО «Гипрониигаз», ООО «Газпром Межрегионгаз» ; принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 29 января 2021 г. № 136-П). — Москва : Стандартинформ, 2021. — IV, 58 с.
3. СП 62.13330.2011*. Газораспределительные системы : актуализированная редакция СНиП 42-01-2002 : утв. приказом Минрегиона России от 27 декабря 2010 г. № 780 : введ. в действие с 20.05.2011 / разраб. ЗАО «Полимергаз», ОАО «Гипрониигаз». — Москва : Минрегион России, 2011. — IV, 100 с.
4. Филатова Е.Б. Анализ аварийности на распределительных газопроводах Самарской области / Е.Б. Филатова, О.А. Баландина, С.М. Пуринг // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : сборник статей. — Самара : СамГТУ, 2023. — С. 629–636.
5. Ионин А.А. Надежность городских систем газоснабжения : монография / А.А. Ионин, К.С. Алибеков, В.А. Жила [и др.]; под ред. А.А. Ионина. — Москва : Стройиздат, 1980. — 231 с.
6. Жила В.А. Разработка методики определения оптимальных показателей надежности элементов систем газораспределения : монография / В.А. Жила, Ю.Г. Маркевич, Е.Б. Соловьева ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). — Москва : НИУ МГСУ : Ай Пи Эр Медиа : ЭБС АСВ, 2016. — 125 с.
7. Елагина О.Ю. Прогнозирование вероятности безотказной работы газораспределительных сетей с использованием показателей технического состояния отдельных элементов / О.Ю. Елагина, Г.И. Вышегородцев, Б.М. Гантимиров [и др.] // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта». — Москва : Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2018. — С. 145–153.
8. РД 12-411-01 : Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов / Госгортехнадзор России ; разраб.: ОАО «ГипроНИИгаз», ОАО «Росгазификация» и др. — Введ. 2001-09-15. — Москва, 2001. — 75 с.
9. Филатова Е.Б. Комплексный подход к прогнозированию ресурса стальных газораспределительных систем / Е.Б. Филатова // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы XIII Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 20–25 апреля 2026 г. / Под общ. ред. Н.Ю. Ермиловой, Е.А. Калюжиной ; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. — Волгоград : ВолгГТУ, 2026. — С. 343–345.
10. ГОСТ 34715.2-2021. Системы газораспределительные. Проектирование, строительство и ликвидация сетей газораспределения природного газа. Часть 2. Стальные газопроводы : межгосударственный стандарт : издание официальное / разработан Акционерным обществом «Газпром газораспределение», Акционерным обществом «Головной научно-исследовательский и проектный институт по распределению и использованию газа «Гипрониигаз» ; Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 523 «Техника и технологии добычи и переработки нефти и газа». — Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 марта 2021 г. № 144-ст ; дата введения 2021-12-01. — Москва : Стандартинформ, 2021. — IV, 39 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST R 58121.2-2018 (ISO 4437-2:2014). Plastmassovye truboprovody dlya transportirovaniya gazoobraznogo topliva. Polie'tilen (PE'). Chast' 2. Truby : nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii : utverzhden i vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po texnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 31 maya 2018 g. № 297-st : (redakciya ot 26 marta 2024 g.) [Plastic Pipelines for the Transportation of Gaseous Fuel. Polyethylene (PE). Part 2. Pipes : National Standard of the Russian Federation : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 31 May 2018, No. 297-art : revised on 26 March 2024]. — Moscow : Standartinform, 2018. — IV, 39 p. [in Russian]
2. GOST 34715.1-2021. Sistemy gazoraspredeitel'nye. Proektirovanie, stroitel'stvo i likvidaciya setej gazoraspredezeniya prirodnogo gaza. Chast' 1. Polie'tilenovye gazoprovody : mezhgosudarstvennyj standart : vveden v pervye : data vvedeniya 2021-12-01 [Gas distribution systems. Design, construction and liquidation of natural gas distribution networks. Part 1. Polyethylene gas pipelines: interstate standard: introduced for the first time: date of introduction 2021-12-01] / Developed by



'Giproniegaz' JSC and Gazprom Mezhtregiongaz Ltd; adopted by the Interstate Council for Standardisation, Metrology and Certification (Minutes No. 136-P of 29 January 2021). — Moscow : Standartinform, 2021. — IV, 58 p. [in Russian]

3. SP 62.13330.2011*. Gazoraspredelitel'nye sistemy : aktualizirovannaya redakciya SNiP 42-01-2002 : utv. prikazom Minregiona Rossii ot 27 dekabrya 2010 g. № 780 : vved. v dejstvie s 20.05.2011 [Gas distribution systems: updated edition of SNiP 42-01-2002: approved by Order of the Ministry of Regional Development of Russia dated December 27, 2010 No. 780 : effective from 20.05.2011] / Compiled by Polimergaz CJSC and Giproniagaz OJSC. — Moscow : Ministry of Regional Development of Russia, 2011. — IV, 100 p. [in Russian]

4. Filatova E.B. Analiz avarijnosti na raspredelitel'nyx gazoprovodax Samarskoj oblasti [Accident Analysis on Distribution Gas Pipelines of the Samara Region] / E.B. Filatova, O.A. Balandina, S.M. Puring // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arxitekture. Stroitel'stvo i stroitel'nye tehnologii [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction and construction technologies] : collection of articles. — Samara : SamSTU, 2023. — P. 629–636. [in Russian]

5. Ionin A.A. Nadezhnost' gorodskix sistem gazosnabzheniya : monografiya [Reliability of urban gas supply systems: monograph] / A.A. Ionin, K.S. Alibekov, V.A. Zhila [et al.]; edited by A.A. Ionin. — Moscow : Strojizdat, 1980. — 231 p. [in Russian]

6. Zhila V.A. Razrabotka metodiki opredeleniya optimal'nyx pokazatelej nadezhnosti e'lementov sistem gazoraspredeleniya : monografiya [Development of a methodology for determining optimal reliability indicators of gas distribution system components: monograph] / V.A. Zhila, Yu.G. Markevich, E.B. Solov'eva ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE). — Moscow : NRU MSUCE : IPR Media : E'BS ASV, 2016. — 125 p. [in Russian]

7. Elagina O.Yu. Prognozirovaniye veroyatnosti bezotkaznoj raboty gazoraspredelitel'nyx setej s ispol'zovaniem pokazatelej texnicheskogo sostoyaniya otdel'nyx e'lementov [Prediction of probability of gas distribution networks failure-free operation using indicators of technical condition of individual elements] / O.Yu. Elagina, G.I. Vyshegorodcev, B.M. Gantimirov [et al.] // Sbornik nauchnyx trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nadezhnost' i bezopasnost' magistral'nogo truboprovodnogo transporta» [Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference «Reliability and Safety of Trunk Pipeline Transport»]. — Moscow : Publishing Centre of the I. M. Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 2018. — P. 145–153. [in Russian]

8. RD 12-411-01 : Instrukciya po diagnostirovaniyu texnicheskogo sostoyaniya podzemnyx stal'nyx gazoprovodov [Instructions for diagnosing the technical condition of underground steel gas pipelines] / Gosgortexnadzor Rossii ; Developed by: OJSC 'GiproNIIgaz', OJSC 'Rosgazifikatsiya' and others – Introduced on 15 September 2001. — Moscow, 2001. — 75 p. [in Russian]

9. Filatova E.B. Kompleksnyj podxod k prognozirovaniyu resursa stal'nyx gazoraspredelitel'nyx sistem [Comprehensive approach to forecasting the life of steel gas distribution systems] / E.B. Filatova // Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZhKK i texnosfernoj bezopasnosti : materialy XIII Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-texnicheskoy konferencii molodyx issledovatelej, Volgograd, 20–25 aprelya 2026 g. [Current Problems of Construction, Housing and Communal Services and Technosphere Safety: materials of the XIII All-Russian (with international participation) Scientific and Technical Conference of young researchers, Volgograd, April 20–25, 2026] / Edited by N.Yu. Ermilova and E.A. Kalyuzhina; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Volgograd State Technical University. — Volgograd: Volgograd State Technical University, 2026. — P. 343–345. [in Russian]

10. GOST 34715.2-2021. Sistemy gazoraspredelitel'nye. Proektirovanie, stroitel'stvo i likvidaciya setej gazoraspredeleniya prirodnogo gaza. Chast' 2. Stal'nye gazoprovody : mezhgosudarstvennyj standart : izdanie oficial'noe [Gas distribution systems. Design, construction and liquidation of natural gas distribution networks. Part 2. Steel gas pipelines: interstate standard: official publication] / Developed by Gazprom Gas Distribution Joint-Stock Company and the 'Giproniegaz' Joint-Stock Company, the Central Research and Design Institute for Gas Distribution and Utilisation; the Interstate Technical Committee for Standardisation MTK 523 'Equipment and Technologies for Oil and Gas Production and Processing'. — Put into effect by Order No. 144-st of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 16 March 2021; effective date 1 December 2021. — Moscow : Standartinform, 2021. — IV, 39 p. [in Russian]