Методика выбора инновационных решений при модернизации трубопроводных систем газоснабжения зданий на основе интегральной оценки

Куровский Станислав Валерьевич
Руководитель научно-исследовательского подразделения ООО «Высшая Школа Образования», 8917564@gmail.com,

Мишин Денис Александрович
Руководитель редакционно-издательского отдела ООО «Высшая Школа Образования», 9651530@gmail.com,

Юсин Данил Сергеевич
аспирант, образовательный центр "Энергоэффективные инженерные системы", Университет ИТМО, yusindanil3514@yandex.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью модернизации трубопроводных систем газоснабжения зданий, значительная часть которых эксплуатируется в условиях накопления коррозионных повреждений, старения защитных покрытий и увеличения расходов на техническое обслуживание. Выбор варианта модернизации часто осуществляется по величине первоначальных капитальных затрат, а показатели надежности, безопасности и стоимости жизненного цикла учитываются раздельно. **Цель исследования** состоит в разработке методики сравнительной оценки вариантов модернизации трубопроводной системы газоснабжения здания, объединяющей технические, эксплуатационные, инновационные и инвестиционные критерии. Предложена иерархическая система показателей, включающая надежность, безопасность, эксплуатационную эффективность, инновационность и инвестиционную эффективность. Введены пороговые ограничения по уровню надёжности и безопасности, проведена апробация методики на объекте, включающем наружные и внутренние участки сети газопотребления. Сопоставлены сценарии локального восстановления, секционной и комплексной модернизации с цифровым мониторингом, последний из которых получил максимальную интегральную оценку, при этом секционный вариант оказался наиболее выгодным по стоимости жизненного цикла. **Практическая значимость результатов** заключается в возможности применения предложенной методики проектными и эксплуатирующими организациями при подготовке решений о ремонте и техническом перевооружении систем газоснабжения.
Ключевые слова: газоснабжение зданий, газопровод, модернизация, надежность, безопасность, стоимость жизненного цикла, инновационность, цифровой мониторинг, инвестиционная эффективность, интегральный показатель.

Введение

Трубопроводная система газоснабжения - один из критически значимых элементов инженерного обеспечения здания, эксплуатационная надежность которой связана с устойчивостью подачи топлива, работоспособностью газоиспользующего оборудования, безопасностью людей и сохранностью строительного объекта. В отличие от других инженерных систем нарушение герметичности газопровода может сопровождаться прекращением предоставления коммунального или технологического ресурса, формированием взрыво- и пожароопасной среды. По этой причине решения о сохранении, ремонте, реконструкции или замене участков сети должны основываться на требованиях безопасности и допустимого технического состояния.

Технический регламент о безопасности сетей газораспределения и газопотребления устанавливает требования к проектированию, строительству, эксплуатации сетей, в частности, СП 62.13330.2011 предусматривает необходимость экономического обоснования принимаемой схемы газоснабжения при обеспечении требуемой степени безопасности. Любое изменение существующей сети должно сохранять или улучшать характеристики надежности и безопасности [1], [2].

В процессе длительной эксплуатации состояние газопроводов изменяется под действием комплекса факторов. Для подземных стальных участков актуальностью обладают состояние изоляционного покрытия, коррозионная активность грунта, эффективность электрохимической защиты.

В контексте традиционного подхода к модернизации предпочтение получает локальный ремонт, чтобы восстановить работоспособность с минимальными текущими затратами. Однако такое решение может сохранять зависимость от периодического визуального контроля и приводить к повторным расходам на следующих этапах эксплуатации. Более капиталоемкая замена участков, внедрение дистанционного мониторинга давления и цифрового учета дефектов могут обеспечить достаточно высокий технический результат, но подразумевают проведение оценки на длительном временном горизонте.

Резюмируя, возникает необходимость методики интегрального выбора, одновременно учитывающей соответствие обязательным требованиям безопасности; вероятность безотказной работы; остаточный ресурс; герметичность и коррозионную стойкость; ремонтопригодность и контролепригодность; трудоемкость технического обслуживания; продолжительность возможных отключений; капитальные и эксплуатационные затраты; стоимость жизненного цикла; технологическую новизну и зрелость решения; возможность цифрового мониторинга; масштабируемость и совместимость с существующей инфраструктурой.

Проблема заключается в том, что указанные характеристики измеряются в различных единицах, имеют неодинаковую значимость и могут находиться в противоречии. Например, вариант с наиболее низкими капитальными затратами может иметь худший остаточный ресурс, а технологически насыщенное решение - завышенную стоимость и недостаточную адаптированность к фактическим условиям объекта.

Цель исследования заключается в разработке методики выбора варианта модернизации трубопроводной системы газоснабжения здания на основе интегральной оценки надежности, безопасности, эксплуатационной эффективности, инновационности и стоимости жизненного цикла.

Научная новизна исследования состоит в объединении технических и инвестиционных параметров модернизации в единой иерархической модели при сохранении приоритета нормативной безопасности. В отличие от компенсационной модели, в которой низкое значение одного критерия может быть полностью перекрыто высокими значениями других, предлагаемый подход содержит нормативы, так что решение, которое не достигло минимального уровня надежности или безопасности, исключается из дальнейшего выбора вне зависимости от величины капитальных затрат и показателя инновационности.

Современное состояние исследований

В соответствии с ГОСТ Р 27.102-2021 надежность объекта рассматривается как способность выполнять требуемую функцию при заданных условиях в течение установленного периода [3]. Основным функциональным требованием к газопроводу является безопасная транспортировка газа при сохранении герметичности и заданных параметров давления. Отказ может быть связан с образованием сквозного повреждения, нарушением сварного или резьбового соединения, потерей работоспособности запорной арматуры, недопустимым снижением пропускной способности [4], [5].

Для длительно эксплуатируемых трубопроводов значимость имеет оценка остаточного ресурса, который зависит от скорости накопления повреждений, фактических режимов эксплуатации, опорных элементов и средств

контроля, как отмечено в публикации [6]. Для целей выбора варианта модернизации надежность должна оцениваться по текущему состоянию, а также по прогнозируемому изменению в течение временного периода.

Объектом исследования являются наружные и внутренние газопроводы, обеспечивающие подачу природного газа к газоиспользующему оборудованию здания. СП 62.13330.2011 устанавливает требования к наружным и внутренним газопроводам, пунктам редуцирования, средствам контроля и другим элементам сетей газораспределения и газопотребления [2]. Для жилых зданий СП 402.1325800.2018 распространяется на внутренние сети газопотребления, использующие природный газ с давлением до 0,005 МПа включительно [9].

Наружный подземный стальной газопровод дополнительно подвержен грунтовой коррозии, так, ГОСТ 9.602-2016 распространяется на защиту от коррозии подземных стальных сооружений, включая распределительные газопроводы [10]. При выборе варианта модернизации необходимо учитывать целостность изоляционного покрытия, параметры электрохимической защиты, возможность возникновения блуждающих токов [14].

Для трубопроводной системы газоснабжения инновационным следует считать решение, обеспечивающее измеримое улучшение надежности, безопасности, контролепригодности или ресурсной эффективности по сравнению с исходным состоянием. Ранее С. В. Куровским и Д. А. Мишиным рассматривались вопросы автоматизации технологических процессов при использовании трубопроводов в нефтяной отрасли, включая автоматизированную оценку состояния участков и выявление технологических осложнений [11]. Вместе с тем ISO 15686-5:2017 предусматривает применение анализа стоимости жизненного цикла к зданиям, построенным объектам и их составным частям [12], что представляется актуальным в рамках разработки методики.

Материалы и методы

Авторская методика включает восемь этапов (рисунок 1). Система критериев обусловлена объединением показателей в пять групп:

1) техническая надёжность, индекс которой рассчитывается по формуле (1):

$R_j = \sum_{i=1}^{n_R} \alpha_{R_i} x_{R_{ij}}$ (1)

где

$x_{R_{ij}}$- нормированное значение i-ого показателя надежности для j-ого варианта;

α_{R_i}– вес i-ого показателя надёжности;

n_R– количество показателей надёжности.



Рисунок 1 – Концепция применения авторской методики (источник: разработано авторами)

2) безопасность (формула (2)):

$S_j = \sum_{i=1}^{n_S} \alpha_{S_i} x_{S_{ij}}$ (2)

где

$x_{S_{ij}}$- нормированное значение i-ого показателя безопасности для j-ого варианта;

α_{S_i}– вес i-ого показателя безопасности;

n_S– количество показателей безопасности.

3) эксплуатационная эффективность, в рамках которой оцениваются трудоёмкость обслуживания, продолжительность отключений, удобство локализации поврежденного участка;

4) инновационность, характеризующаяся технологической новизной относительно исходной модели, масштабируемостью, интеграцией с диспетчеризацией;

5) инвестиционная эффективность, куда включаются срок окупаемости инвестиций, стоимость жизненного цикла, первоначальные капитальные затраты, остаточная стоимость модернизированных элементов, ожидаемые потери от отказов.

Для показателя, увеличение которого соответствует улучшению результата, используется выражение (3):

$x_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i^{min}}{X_i^{max} - X_i^{min}}$ (3)

где

X_{ij}- фактическое значение i-ого показателя для j-ого варианта;

X_i^{min}- минимальное значение данного показателя среди сравниваемых вариантов;

X_i^{max}– максимальный уровень данного показателя.

Если показатель определяется экспертно по пятибалльной шкале, целесообразно применить преобразование в контексте формулы (4):

$x_{ij} = \frac{b_{ij}-1}{4}$ (4)

где

b_{ij}- экспертная оценка от 1 до 5.

Итоговый индекс модернизации определяется следующим образом (формула (5)):

$K_j = w_R R_j + w_S S_j + w_E E_j + w_I I_j + w_C C_j$ (5)

где

R_j– надёжность;

S_j– безопасность;

E_j– эксплуатационная эффективность;

I_j– инновационность;

C_j– инвестиционная эффективность.

w_R, w_S, w_E, w_I, w_C – весовые коэффициенты соответствующих групп критериев.

Вводятся обязательные условия (6), (7):

$$\begin{cases} R_j \geq R_{min} \\ R_{min} = 0{,}70 \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} S_j \geq S_{min} \\ S_{min} = 0{,}75 \end{cases} \quad (7)$$

При невыполнении хотя бы одного ограничения вариант признается неприемлемым для реализации в исходном виде.

Оценка риска проводится в соответствии с ГОСТ Р 58771-2019 [13].

Характеристика объекта и сценариев модернизации

Для апробации авторской методики сформирован объект, представляющий систему газоснабжения административно-производственного здания с автономным газоиспользующим оборудованием, которая включает подземный стальной газопровод низкого давления условной протяженностью 310 м; надземный участок и ввод протяженностью 65 м; внутренние газопроводы общей протяженностью 145 м; запорную арматуру на вводе и перед газоиспользующим оборудованием; узел учета газа; локальные средства контроля в помещении газоиспользующего оборудования.

В процессе диагностики обнаружены нарушения защитного покрытия, неоднородность состояния сварных соединений, отсутствие непрерывной регистрации давления, единого цифрового журнала дефектов, необходимость повторных ремонтных работ.

Разработано три сценария (таблица 1).

Таблица 1
Сравнение состава сценариев

Мероприятие	Сценарии		
	Минимальное восстановление	Секционная модернизация	Комплексная инновационная модернизация
Локальный ремонт дефектов	Да	Частично	Только для сохраняемых элементов
Замена критических участков	Ограниченно	Да	Да
Комплексная замена длительно эксплуатируемых участков	Нет	Нет	Да
Восстановление защиты от коррозии	Локально	Комплексно для сохраняемых участков	Для сохраняемых элементов
Дополнительные датчики	Нет	Да	Да
Автоматическое отключение	Частично	Да	Да
Дистанционная передача	Нет	Ограниченно	Да
Цифровой паспорт	Нет	Базовый	Расширенный
Прогнозирование состояния	Нет	Ограниченно	Да
Риск-ориентированное планирование	Нет	Частично	Да

Источник: разработано авторами.

Результаты исследования

После нормирования частных показателей получены значения, представленные в таблице 2.

Проверка пороговых условий показала, что к дальнейшему сравнению допускаются сценарии секционной и комплексной инновационной модернизации, поскольку у первого сценария не соответствовали расчётные значения установленным нормативам.

Таблица 2
Групповые показатели вариантов

Показатель	Сценарии		
	Минимальное восстановление	Секционная модернизация	Комплексная инновационная модернизация
Надежность (R)	0,63	0,82	0,93
Безопасность (S)	0,68	0,84	0,95
Эксплуатационная эффективность (E)	0,61	0,77	0,91
Инновационность (I)	0,22	0,66	0,92
Инвестиционная эффективность (C)	0,70	0,88	0,76

Источник: разработано авторами.

По базовой системе весов первое место занимает сценарий комплексной инновационной модернизации (таблица 3).

Таблица 3
Результаты интегральной оценки

Сценарий	Интегральный индекс	Выполнение порогов	Статус
Минимальное восстановление	0,594	-	Исключается
Секционная модернизация	0,805	+	Допустимый
Комплексная инновационная модернизация	0,904	+	Предпочтительный

Источник: разработано авторами.

Расчёт стоимости жизненного цикла выполнен для периода 20 лет при ставке дисконтирования 10% (таблица 4).

Таблица 4
Стоимость жизненного цикла

Сценарий	Первоначальные вложения, млн. руб.	Стоимость жизненного цикла, млн. руб.	Место в рейтинге
Минимальное восстановление	1,80	10,07	3
Секционная модернизация	5,40	9,14	1
Комплексная инновационная модернизация	7,30	9,47	2

Источник: разработано авторами.

Выбор между сценариями секционной и комплексной инновационной модернизации зависит от критичности объекта, допустимой продолжительности отключения, стратегии эксплуатации, а также доступности финансовых ресурсов.

Анализ устойчивости результатов

При крайне высоком весе инвестиционной эффективности сценарий секционной модернизации незначительно опережает комплексную инновационную модернизацию, поскольку разница составляет 0,004, то есть находится в пределах чувствительности модели (таблица 5).

Таблица 5
Результаты анализа чувствительности

Профиль весов	Минимальное восстановление	Секционная модернизация	Комплексная инновационная модернизация	Первое место
Базовый	0,594	0,805	0,904	КИМ
Технический приоритет	0,601	0,806	0,915	КИМ
Инвестиционное доминирование	0,615	0,841	0,837	СМ

Источник: разработано авторами.

Для здания с непрерывным технологическим процессом, высокой стоимостью остановки либо большим числом людей повышенная контролепригодность сценария комплексной инновационной модернизации может иметь определяющее значение.

Интерпретация результатов в рамках инновационного и инвестиционного подходов

В авторской методике инновационность рассматривается как способность решения создавать устойчивое улучшение технических и эксплуатационных характеристик. Высокий показатель инновационности подразумевает выполнение нескольких условий, в том числе технология должна быть применима к конкретному объекту, эффект измерим; решение совместимо с действующей инфраструктурой; должна быть обеспечена техническая поддержка; персонал должен иметь возможность освоить технологию; цифровые функции связаны с регламентом реагирования. Например, дистанционная передача давления обладает ограниченной ценностью, если отсутствуют установленные пороги, ответственный персонал и порядок действий при отклонении от норматива.

На уровне инженерной системы инновационность рассматривается в качестве фактора изменения технических характеристик, показатель должен учитывать совокупность параметров, а положительный эффект – сохраняться в течение жизненного цикла. В предлагаемой модели интегральный индекс инновационности трубопроводной системы включает технологическую новизну, цифровую диагностируемость, прогнозирование состояния, автоматизацию защитных функций, масштабируемость и зрелость решения.

Для принятия инвестиционного решения предлагается использовать двухэтапную процедуру, например, на первом этапе выбираются варианты, удовлетворяющие требованиям надежности и безопасности, затем среди допустимых вариантов определяется решение, соответствующее стратегии собственника (таблица 6): обеспечение заданного срока эксплуатации, максимальная надёжность, минимальная стоимость жизненного цикла и др. [15].

Таблица 6
Условия применения сценариев

Условие объекта	Предпочтительный подход
Единичный локальный дефект, подтвержденный ресурс остальной сети	Локальный ремонт
Несколько дефектных зон при удовлетворительном состоянии большей части системы	Секционная модернизация
Системное старение и повторные дефекты	Комплексная модернизация
Высокая стоимость остановки оборудования	Комплексная модернизация
Жесткое ограничение бюджета при выполнении порогов	Секционная модернизация
Недостаточная диагностируемость критических участков	Секционная либо комплексная модернизация
Необходимость диспетчеризации и удаленного контроля	Комплексная модернизация
Короткий оставшийся срок эксплуатации здания	Секционная модернизация после отдельного технико-экономического расчета
Планируемая реконструкция здания	Комплексная модернизация в составе проекта

Источник: разработано авторами.

Комплексная инновационная модернизация соответствует стратегии максимального снижения технической неопределенности. Дополнительные финансовые вложения направляются на замену большей части длительно эксплуатируемых элементов, автоматизацию контроля и создание информационной основы для дальнейшего управления состоянием.

Обсуждение результатов исследования

Полученный результат согласуется с принципом, согласно которому модернизация должна обеспечивать устранение текущего дефекта, улучшение управляемости технического состояния. Локальный ремонт остается необходимым инструментом, однако не может быть универсальной стратегией для систем с накопленным износом.

Практическое внедрение методики может осуществляться в виде электронной расчетной формы. Так, пользователь вводит параметры системы, результаты диагностики и состав вариантов, программа выполняет нормирование, проверяет пороговые условия, рассчитывает LCC и формирует рейтинг. Отдельно должна отображаться чувствительность результата к изменению весовых индикаторов.

Ограничениями авторской методики представляются, в частности, точность интегральной оценки, которая зависит от качества исходной диагностики, стоимость последствий опасных событий, соотносящаяся с высокой неопределенностью, кроме того, применение экспертных баллов создает субъективность.

Заключение

Выбор варианта модернизации трубопроводной системы газоснабжения здания должен осуществляться с учетом надежности, безопасности, эксплуатационной эффективности, инновационности и инвестиционной эффективности.

Разработана иерархическая система критериев, объединяющая технические, эксплуатационные, инновационные и стоимостные показатели в единой безразмерной шкале.

Предложен интегральный показатель эффективности модернизации объекта.

Введены обязательные пороговые ограничения по надежности и безопасности. В соответствии с результатами исследования максимальную интегральную оценку получила комплексная инновационная модернизация, преимущество которой определяется повышением надежности, безопасности, диагностируемости и качества управления техническим состоянием.

Практическое применение методики даст проектным и эксплуатирующим организациям повысить обоснованность решений о ремонте, реконструкции и техническом перевооружении систем газоснабжения зданий в контексте действующих нормативных актов [16-20].

Литература

1. Об утверждении технического регламента о безопасности сетей газораспределения и газопотребления : постановление Правительства Российской Федерации от 29 октября 2010 г. № 870 : в ред. от 14 декабря 2018 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2010. — № 45. — Ст. 5853.
2. СП 62.13330.2011. Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002 : с изм. № 1-4 : свод правил : издание официальное / Министерство регионального развития Российской Федерации. - Москва : Минрегион России, 2011.
3. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. - Москва: Российский институт стандартизации, 2021.
4. Харисов Р. А. Совершенствование технологии изоляции трубопроводов полимерными ленточными покрытиями с двусторонним липким слоем : специальность 25.00.19 "Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа, 2011. – 246 с. – EDN QFIFNH.
5. Харисов Р. А. Совершенствование технологии изоляции трубопроводов полимерными ленточными покрытиями с двусторонним липким слоем : специальность 25.00.19 "Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа, 2011. – 23 с. – EDN ORDYVX.
6. Гумеров К. М., Харисов Р. А. Оценка допустимого радиуса изгиба трубопровода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – № 2(108). – С. 73-83. – EDN YRXVSB.
7. Харисов Р. А., Исаев Ш. З., Латыпов А. М. Расчетная оценка кривых малоцикловой трещиностойкости металла труб // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2012. – № 2. – С. 349-353. – EDN RPEQQB.
8. Зайнуллин Р. С., Харисов Р. А., Мухаметзянов А. Н. Оценка влияния низких температур на трещиностойкость сталей, применяемых в нефтегазовой отрасли // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 10. – С. 116-119. – DOI 10.24887/0028-2448-2017-10-116-119. – EDN ZPDYNJ.
9. СП 402.1325800.2018. Здания жилые. Правила проектирования систем газопотребления : с Изменением № 1 : свод правил : издание официальное / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. - Москва : Стандартинформ, 2019.
10. ГОСТ 9.602-2016. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии : межгосударственный стандарт : издание официальное. - Москва : Стандартинформ, 2016.
11. Куровский С. В., Мишин Д. А. Автоматизация технологических процессов при использовании трубопроводов в нефтяной отрасли // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2025. - № 11. - С. 92-99.
12. ISO 15686-5:2017. Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 5: Life-cycle costing. - Geneva: International Organization for Standardization, 2017.
13. ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска. - Москва: Стандартинформ, 2020.
14. Куровский С. В., Мишин Д. А. Наноингибиторы коррозии для транспортируемых сред в трубопроводной системе // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2026. - № 1. - С. 88-95.
15. Куровский С. В., Мишин Д. А. Обеспечение экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2025. - № 11. - С. 264-268.
16. ГОСТ 5542-2022. Газ природный промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное. - Москва : Российский институт стандартизации, 2022.
17. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное. - Москва : Стандартинформ, 2020.
18. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ : в ред. от 25 декабря 2023 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. - 2010. - № 1. - Ст. 5.
19. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : в действующей редакции // Собрание законодательства Российской Федерации. - 2008. - № 30, ч. 1. - Ст. 3579.
20. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния : межгосударственный стандарт : издание официальное. - Москва : Российский институт стандартизации, 2024. - IV, 64 с.

Methodology for selecting innovative solutions for the modernization of building gas-supply pipeline systems based on an integrated assessment

Kurovsky S.V., Mishin D.A., Yusin D.S.
LLC "Higher School of Education", ITMO University

JEL classification: L61, L74, R53

The relevance of this study stems from the need to modernize building gas supply pipeline systems, many of which operate under conditions of accumulating corrosion damage, aging protective coatings, and increasing maintenance costs. The choice of modernization option is often based on the initial capital expenditure, while reliability, safety, and lifecycle cost indicators are considered separately. The objective of this study is to develop a methodology for comparatively evaluating building gas supply pipeline system modernization options, integrating technical, operational, innovation, and investment criteria. A hierarchical system of indicators is proposed, including reliability, safety, operational efficiency, innovation, and investment efficiency. Thresholds for reliability and safety levels were introduced, and the methodology was tested at a facility including both outdoor and indoor sections of the gas supply network. Local restoration, sectional, and comprehensive modernization scenarios with digital monitoring were compared. The latter received the highest integrated score, with the sectional option proving to be the most cost-effective in terms of lifecycle costs. The practical significance of the results lies in the potential application of the proposed methodology by design and operating organizations when preparing decisions on the repair and technical upgrade of gas supply systems.

Keywords: gas supply to buildings, gas pipeline, modernization, reliability, safety, life cycle cost, innovation, digital monitoring, investment efficiency; integrated indicator.

References

1. On approval of the technical regulations on the safety of gas distribution and gas consumption networks: Resolution of the Government of the Russian Federation of October 29, 2010 No. 870: as amended on December 14, 2018 // Collected Legislation of the Russian Federation. — 2010. — No. 45. — Art. 5853.
2. SP 62.13330.2011. Gas distribution systems. Updated version of SNiP 42-01-2002: with amendments No. 1-4: set of rules: official publication / Ministry of Regional Development of the Russian Federation. - Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2011.
3. GOST R 27.102-2021. Reliability in engineering. Facility reliability. Terms and definitions. - Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021.
4. Kharisov R. A. Improving the Technology of Pipeline Insulation with Polymer Tape Coatings with a Double-Sided Adhesive Layer: specialty 25.00.19 "Construction and Operation of Oil and Gas Pipelines, Bases and Storage Facilities": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. - Ufa, 2011. - 246 p. - EDN QFIFNH.
5. Kharisov R. A. Improving the Technology of Pipeline Insulation with Polymer Tape Coatings with a Double-Sided Adhesive Layer: specialty 25.00.19 "Construction and Operation of Oil and Gas Pipelines, Bases and Storage Facilities": abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. - Ufa, 2011. - 23 p. - EDN ORDYVX.
6. Gumerov K. M., Kharisov R. A. Estimation of the permissible bending radius of a pipeline // Problems of collection, preparation and transportation of oil and oil products. - 2017. - No. 2 (108). - P. 73-83. - EDN YRXVSB.
7. Kharisov R. A., Isaev Sh. Z., Latypov A. M. Calculation of low-cycle crack resistance curves of pipe metal // Electronic scientific journal Oil and Gas Business. - 2012. - No. 2. - P. 349-353. - EDN RPEQQB.
8. Zaynullin R. S., Kharisov R. A., Mukhametzyanov A. N. Estimation of the influence of low temperatures on the crack resistance of steels used in the oil and gas industry // Oil industry. – 2017. – No. 10. – P. 116-119. – DOI 10.24887/0028-2448-2017-10-116-119. – EDN ZPDYNJ.