

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-50-62

^{1,*}Медведева О.Н., ²Чиликин А.Ю.¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.²ООО «Газпром межрегионгаз Киров»

*E-mail: medvedeva-on@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ, КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ СЕТИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Аннотация. Ограниченность газораспределительных организаций (ГРО) в денежных ресурсах, которые возможно направлять на постоянную модернизацию и поддержание объектов сетей газораспределения в состоянии, обеспечивающем необходимый уровень безопасности, требует решения оптимизационной задачи. В свою очередь задача оптимизации затрачиваемых ресурсов на проведение соответствующих мероприятий требует выбора критериев, относительно которых будет определяться цель проведения мероприятий и оцениваться ее достижение посредством данных мероприятий. Проведен анализ статистики происшествий на объектах сетей газораспределения АО «Газпром газораспределение Киров» за 2016–2021 года. Предложена методика планирования работ по модернизации, капитальному ремонту и реконструкции объектов сети газораспределения с учетом показателя безопасности, основанного на величине параметра потока отказов для различных видов/типов объектов и их фактического технического состояния. Выполнен сбор требуемых исходных данных о фактических значениях искомого показателя безопасности за определенный период и выработан механизм управления затратами ГРО для обеспечения требуемого уровня безопасности сетей газораспределения. Обеспечение надежности сети газораспределения с учетом фактического технического состояния объектов сети газораспределения ГРО в равной степени будет обеспечивать безопасность сети газораспределения.

Ключевые слова: природный газ, безопасность, сеть газораспределения, надежность, газораспределительная организация, безаварийность, отказ.

Введение. Каждая газораспределительная организация при транспортировке газа по сетям газораспределения в соответствии с Регламентом [1] должна обеспечивать безопасность транспортировки. При этом, как элемент бизнеса, каждая ГРО стремится к получению максимальной прибыли, соответственно, минимизации затрат. Безопасность сетей газораспределения характеризуется их безаварийностью [2–6], которая обеспечивается проведением регламентных работ при эксплуатации объектов сетей газораспределения: газопроводов (с располагающимися на них техническими устройствами) и пунктов редуцирования газа в соответствии с действующей нормативной документацией.

Одновременно с этим, в процессе жизненного цикла каждого объекта наступает момент, когда осуществление регламентных работ для сохранения требуемого уровня безопасности уже недостаточно. Требуется проведение полноценной модернизации или проведения капитального ремонта – замены или реконструкции, обновляющих ресурс и уменьшающих риск эксплуатации объекта [7, 8]. Однако данные мероприятия являются дорогостоящими, и, в условиях существующей доходности, ГРО заинтересованы в минимальном объеме проводимых работ [9, 10].

В противном случае деятельность ГРО будет убыточной.

В настоящее время отсутствует эффективный инструмент, позволяющий ГРО оптимально планировать проведение работ по модернизации, капитальному ремонту (замене) и реконструкции объектов газораспределения в случае избыточных или недостаточных затрат, что, в конечном итоге, приводит к снижению уровня безопасности сетей газораспределения [9, 11–14].

Под безопасностью сети газораспределения будем подразумевать отсутствие аварий, при которых происходит разрушение/отказ объектов сети газораспределения, приводящих к любому ущербу.

В действующей нормативной документации отсутствуют требования к показателям безопасности для сетевых организаций, так как предполагается, что безопасность должна быть безусловной. Однако в отношении распределительных сетей понятие безопасности тесно связано, а в случае сетей газораспределения тождественно, с понятием надежности [1, 11, 15–17]. В этой связи следует тщательно рассмотреть существующие нормативные показатели надежности для энергоснабжающих организаций. При этом, данные показатели следует оценивать

неразрывно от показателей качества соответствующих услуг, так как существующая мировая практика подразумевает их совместное регулирование и влияние [4, 18–21].

Показатели надежности и качества услуг, оказываемых в системах распределения энергоресурсов, разрабатываются и применяются в процессе государственного регулирования субъектов естественных монополий в сфере электроэнергетики, теплоэнергетики, газоснабжения, водоснабжения и водоотведения и пр. В свою очередь государственное регулирование естественных монополий в Российской Федерации осуществляется, в том числе и путем установления тарифов на услуги соответствующих организаций.

В настоящее время в РФ применяются следующие методы формирования тарифов:

- экономически обоснованных расходов (затрат);
- обеспечения доходности инвестированного капитала;
- индексации;
- сравнения аналогов.

Показатели надежности и качества оказываемых услуг предусмотрено использовать преимущественно в случае применения метода обеспечения доходности инвестированного капитала [9, 10 и др.]. Действующая федеральная нормативная база позволяет определять тарифы на услуги по транспортировке электрической и тепловой энергии любым из указанных методов. В сфере транспортировки природного газа по газораспределительным сетям в соответствии с нормативными документами тарифы устанавливаются на один год методом экономически обоснованных расходов (затрат) с учетом показателей надежности [Приказ ФСТ России от 15.12.2009 № 411-э/7 «Об утверждении Методических указаний по регулированию тарифов на услуги по транспортировке газа по газораспределительным сетям» (с изменениями на 6 декабря 2021 года)].

Задачей исследования является создание универсального инструмента, позволяющего объективно оценить необходимость и объективность решений по проведению работ по модернизации, капитальному ремонту (замене) и реконструкции объектов газораспределения в рамках отдельной газораспределительной организации. Успешность решения задачи в первую очередь будет зависеть от корректно выбранного критерия (индикатора), определяющего необходимость проведения соответствующих мероприятий.

Таким образом, цель работы можно сформулировать следующим образом – разработка мероприятий по повышению безопасности сети газораспределения в целом. Критерием необходимости проведения работ по модернизации, капитальному ремонту (замене) и реконструкции объектов газораспределения будет являться снижение или недостижение некоторого планового показателя безопасности.

Материалы и методы. При выполнении исследования применялся комплексный подход, включающий научный анализ существующих проблем и возможных решений, создание теоретической и математической модели, методы теоретических исследований.

Значения показателей уровня надежности и качества оказываемых услуг по транспортировке газа по газораспределительным сетям определяются в соответствии с Методикой расчета плановых и фактических показателей надежности и качества услуг по транспортировке газа по газораспределительным сетям, утвержденной Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 15 декабря 2014 года № 926.

Аналогично отраслям тепло- и электроснабжения показатели уровня надежности и качества услуг по транспортировке газа состоят из нескольких плановых и фактических показателей:

- количество и продолжительность прекращений и ограничений транспортировки газа по газораспределительным сетям или показатель количества прекращений транспортировки газа;
- количество недопоставленного газа различным категориям потребителей в результате прекращений и ограничений транспортировки газа по газораспределительным сетям или показатель количества недопоставленного газа.

Уровень качества оказываемых услуг определяется с использованием следующих показателей:

- обеспечение давления в точке подключения потребителей к сети газораспределения в соответствии с техническими условиями на подключение;
- соответствие физико-химических характеристик газа в точке подключения потребителей к сети газораспределения требованиям, установленным в нормативно-технических документах.

Услуга газораспределения является регулируемой во многих странах, что предполагает, в том числе, регулирование качества и надежности, поскольку данный показатель включается в термин «качество» предоставляемой услуги [22–24].

Основная часть. Надежность является мерой обеспеченности газом всех потребителей сети газораспределения и разделяется на долгосрочную меру – пропускную способность сети (в любой момент времени возможность транспортировать требуемое количество газа для каждого потребителя) и краткосрочную меру – операционная надежность (продолжительность перерывов в транспортировке газа при плановых/не плановых отключениях элементов сети газораспределения (перерывах транспортировки газа)). Обеспеченность потребителей определяется показателями надежности, такими как частота и длительность перерывов транспортировки газа. Показатели надежности определяют «среднюю эффективность работы» эксплуатационной организации (например, средняя продолжительность перерыва на одного клиента в год).

В отношении сетей газораспределения показатель надежности будет тождественен показателю безопасности, поскольку любое нарушение работы сети, вызванное не действиями третьих лиц или непреодолимой силой, а техническим состоянием сети газораспределения (то есть тем, на что может оказать влияние ГРО), приносит неминуемый ущерб [8, 13]. Основная цель ГРО – избежать возможности возникновения подобных ситуаций. Управляя показателем надежности сети газораспределения в равной степени, происходит управление показателем ее безопасности.

В соответствии с Техническим регламентом [1] сети газораспределения должны обеспечивать безопасность транспортирования природного газа, которая обеспечивается исправностью сети газораспределения. Параметры, влияющие на исправность сети газораспределения, изменяются из-за деградации свойств материалов, из которых выполнены объекты сети газораспределения, износа технических устройств и воздействия внешних факторов (природно-климатические и техногенные воздействия, вандализм).

Исправное состояние сети газораспределения обеспечивают выполнением ГРО обязательных требований нормативных документов, устанавливающих периодичность и состав работ по мониторингу, техническому обслуживанию и ремонту объектов сети газораспределения. При невозможности или нецелесообразности обеспечения исправного состояния сети газораспределения посредством выполнения технического обслуживания и ремонта (текущего) объектов сети газораспределения, исправное состояние обеспечивают выполнением следующих организационно-технических мероприятий (видов работ) на объектах сети газораспределения: капитальный

ремонт; реконструкция; техническое перевооружение.

Проведенный анализ существующей номенклатуры показателей надежности и качества, применяемых в сетях газораспределения и распределения электроэнергии, регулируемых государственными органами в отношении организаций, выполняющих транспортирование энергетических ресурсов, показывает, что наиболее значимым является показатель надежности работы сети распределения. При этом, относительно весовых коэффициентов составляющих данного показателя самым существенным является показатель, характеризующий потенциальную возможность перебоя поставки ресурса конечному потребителю. Вторичными являются количество непоставленного ресурса и продолжительность перебоя.

Полученные результаты анализа позволяют выполнить сбор требуемых исходных данных о фактических значениях искомого показателя за определенный период и выработать механизм управления затратами ГРО для обеспечения требуемого уровня безопасности сетей газораспределения.

Таким образом, безопасность сети газораспределения количественно можно охарактеризовать показателем безопасности. Основными параметрами, влияющими на значение показателя безопасности сети газораспределения, являются удельные параметры потоков отказов объектов сети газораспределения, зависящие в том числе от их технического состояния. Задав область распространения для понятия «отказ», можно использовать имеющиеся статистические данные для определения численных значений искомого величин.

В качестве отказов объектов сети газораспределения будем рассматривать:

- аварии и инциденты на объектах сети газораспределения;
- нарушения целостности, в том числе:
 - а) разрушение труб и соединительных деталей газопроводов;
 - б) разрушение соединительных деталей и корпусов технических устройств;
- утечки газа из разъемных соединений, которые невозможно устранить без ограничения (прекращения) транспортировки газа потребителям;
- срабатывание отключающей арматуры в ПРГ;
- закупорки газопроводов, приведшие к ограничению (прекращению) транспортировки газа потребителям;

– прочие неисправности газопроводов, соединительных деталей и технических устройств, в том числе вызванных повреждениями, которые невозможно устранить без ограничения (прекращения) транспортировки газа потребителям;

– другие случаи внеплановых ограничений (прекращений) транспортировки газа потребителям, вызванные техническими причинами.

Для каждой сети газораспределения для любого момента или периода времени (в том числе прогнозируемого) может быть рассчитан показатель безопасности сети газораспределения, зави-

сящий от полученных значений удельных параметров потоков отказов и фактического технического состояния каждого объекта, входящего в данную сеть газораспределения (или которые планируется в нее включить в прогнозный период).

Значения удельных параметров потоков отказов газопроводов и ПРГ и долей отказов, приводящих к авариям, приведены в таблицах 1, 2. Численные значения получены при анализе статистики происшествий на объектах сетей газораспределения АО «Газпром газораспределение Киров» за 2016–2021 года.

Таблица 1

Значения удельных параметров потоков отказов газопроводов, (год·км)⁻¹, и долей отказов, приводящих к авариям на подземных стальных, полиэтиленовых и надземных газопроводах

Причина отказов	Межпоселковые газопроводы	Доля отказов, приводящих к авариям	Распределительные газопроводы в населенных пунктах	Доля отказов, приводящих к аварии	Газопроводы-вводы	Доля отказов, приводящих к аварии
Подземные стальные газопроводы						
Антропогенные воздействия	0,000618	0,820	0,000738	0,880	0,000472	0,820
Природные воздействия	0,000284	0,820	0,000094	0,350	0,000183	0,250
Коррозия трубы газопровода	0,000405·k _{гс}	0,500	0,000582·k _{гс}	0,010	0,000987·k _{гс}	0,550
Заводские дефекты	0,000061	0,300	0,000014	0,100	0,000012	0,300
Качество СМР	0,000182	0,830	0,000105	0,970	0,000218	0,190
Другие причины	0,000030	0,500	0,000033	0,500	0,000105	0,500
Надземные газопроводы						
Антропогенные воздействия	0,000558	0,840	0,003893	0,630	0,003375	0,780
Природные воздействия	0,000255	0,770	0,001394	0,510	0,003031	0,500
Коррозия трубы газопровода	0,000012·k _{гс}	0,010	0,00014·k _{гс}	0,001	0,001042·k _{гс}	0,020
Заводские дефекты	0,000016	0,001	0,000019	0,001	0,000011	0,001
Другие причины	0,000112	0,500	0,000065	0,500	0,000602	0,500
Полиэтиленовые газопроводы						
Антропогенные воздействия	0,000548	0,910	0,003342	0,960	0,004493	0,940
Природные воздействия	0,000112	1	0,000053	0,670	0,006700	0,001
Заводские дефекты	0,000012	0,001	0,000014	0,001	0,000067	0,001
Качество СМР	0,000125	1	0,000117	0,640	0,002414	0,027
Другие причины	0,000062	0,500	0,000043	0,500	0,000268	0,500

Примечание: k_{гс} – коэффициент фактического срока службы газопровода

Показатель безопасности в зависимости от варианта расчета, доли единицы, предлагается определять по формуле:

$$P^v = \prod_{i=1}^n P_i^{ar} \times \prod_{j=1}^m P_j^{ar}, \quad (1)$$

где P_i^{ar} – вероятность безаварийной работы i -ого участка газопровода сети газораспределения, доли единицы; v – индекс варианта расчета, определяющий момент времени и условия, при которых выполняется расчет показателя безопасно-

сти сети газораспределения в соответствии с таблицей 3; i – порядковый номер участка газопровода сети газораспределения; n – количество участков газопроводов в сети газораспределения, шт.; j – порядковый номер ПРГ сети газораспре-

деления; m – количество ПРГ в сети газораспределения, шт; $P_j^{ар}$ – вероятность безаварийной работы j -ого ПРГ сети газораспределения, доли единицы.

Таблица 2

Значения удельных параметров потоков отказов ПРГ, (год)⁻¹, и долей отказов, приводящих к авариям

Характер отказа	ГРП/ГРПБ без автоматических резервных линий редуцирования	Доля отказов, приводящих к авариям	ГРП/ГРПБ с автоматическими резервными линиями редуцирования	Доля отказов, приводящих к авариям	ГРПШ без автоматических резервных линий редуцирования	Доля отказов, приводящих к авариям	ГРПШ с автоматическими резервными линиями редуцирования	Доля отказов, приводящих к авариям
Утечка газа	0,00190	0,02	0,00190	0,02	0,00220	0,01	0,00190	0,01
Отказ регулятора давления	0,00261	0,05	–		0,00261	0,05	–	
Отказ оборудования	0,00500	0,10	0,00040	0,05	0,00022	0,10	0,00012	0,05
Прочие отказы	0,00038	0,02	0,00038	0,01	0,00045	0,02	0,00022	0,01

Таблица 3

Моменты времени и условия, при которых выполняют расчеты показателей безопасности и надежности сети газораспределения

Индекс варианта расчета	Момент времени	Условия расчета
пд	До проведения работ по капитальному ремонту, реконструкции или техническому перевооружению на всех объектах сети газораспределения	При расчете следует учитывать все объекты сети газораспределения, которые находятся в эксплуатации на момент планирования, со сроком службы на момент завершения периода планирования, а также объекты, которые будут введены в эксплуатацию в период планирования
пп ij	После проведения работ по капитальному ремонту, реконструкции или техническому перевооружению (j -ого вида работ) на i -ом объекте сети газораспределения до завершения периода планирования	

Вероятность безаварийной работы i -ого участка газопровода сети газораспределения определяется по формуле:

$$P_i^{ар} = \left(\prod_{i=1}^n e^{-\sum_j (\omega_j^{jk} \cdot \lambda_{ijk}^r) \cdot L_i \cdot B_{ik} - 0,000001 \cdot z}, i = \overline{1, n} \right), \quad (2)$$

где ω_j^{jk} – значение удельного параметра потоков отказов i -ого участка газопровода k -ого типа по j -ой причине, (год·км)⁻¹; j – индекс причины отказа газопровода; k – индекс типа газопровода, типы газопроводов определяют исходя из места расположения, положения относительно поверхности земли и материала трубы газопровода (табл. 1); λ_{ijk}^r – доля отказов по j -ой причине, приводящих к аварии на i -ом участке газопровода k -ого типа,

доли единицы; L_i – протяженность i -ого участка газопровода, км; B_{ik} – балльная оценка i -ого участка газопровода k -ого типа, определяется по рекомендациям СТО Газпром 2-2.3-351-2009; z – количество арматуры трубопроводной с истекшим сроком службы, установленной на i -ом участке газопровода, шт; n – количество газопроводов в сети газораспределения, шт.

Вероятность безаварийной работы j -ого ПРГ сети газораспределения определяется по формуле:

$$P_j^{ар} = \left(\prod_{j=1}^m e^{-\sum_z \omega_j^{zk} \cdot \lambda_{izk}^r \cdot B_{jk} - 0,000001 \cdot w}, j = \overline{1, n} \right), \quad (3)$$

где z – индекс характера отказа ПРГ; ω_j^{zk} – значение удельного параметра потоков отказов z -ого

характера j -ого ПРГ k -ого типа, $(\text{год})^{-1}$; k – индекс типа ПРГ, тип ПРГ определяется исходя из конструктивных особенностей (табл. 2); λ_{izk}^T – доля отказов z -ого характера, приводящих к аварии на ПРГ, доли единицы; V_{jk} – балльная оценка j -ого ПРГ k -ого типа, определяется по рекомендациям СТО Газпром 2-2.3-351-2009; w – количество технических устройств с истекшим сроком службы, установленной в j -ом ПРГ, шт; n – количество ПРГ в сети газораспределения, шт.

Модернизация, капитальный ремонт или реконструкция объектов сети газораспределения неизбежно улучшает техническое состояние, а, следовательно, влияет на значение показателя безопасности сети в целом. Определяя фактическое значение существующей сети газораспределения и, сравнивая его с целевым значением, можно определить необходимость выполнения тех или иных мероприятий на каждом объекте сети газораспределения.

Основываясь на результатах проведенного анализа, в качестве целевого значения показателя безопасности целесообразно выбрать величину обязательного прироста показателя безопасности

относительно достигнутого в текущем году уровня по сравнению с предыдущим годом.

Целевое значение показателя безопасности сети газораспределения, доли единицы, предлагается определять по формуле:

$$P^c = P^{пл} \cdot k^P, \tag{4}$$

где $P^{пл}$ – прогнозируемое значение показателя безопасности сети газораспределения в завершении периода планирования при условии, что ни на одном объекте сети газораспределения не выполнены капитальный ремонт, реконструкция или техническое перевооружение, доли единицы; k^P – целевой коэффициент, определяемый по табл. 4, исходя из выполнения неравенства:

$$\sum_{i=1}^{365} a_i < \sum_{i=366}^{730} a_i, \tag{5}$$

где i – порядковый номер суток до момента составления текущего плана проведения работ; a_i – удельное количество аварий в сети газораспределения в i -ые сутки до момента составления текущего плана работ, шт/км.

Таблица 4

Значения целевого коэффициента k^P

Неравенство (5)	Значение k^P
Выполняется	1,001
Не выполняется	1,002

Необходимо определить ожидаемый прирост показателя безопасности сети газораспределения в результате выполнения работ по капитальному ремонту, реконструкции или техническому перевооружению объектов сети газораспределения в завершении периода планирования ΔP , доли единицы, по формуле:

$$\Delta P = P^c - P^{пл}, \tag{6}$$

где P^c – целевое значение показателя безопасности сети газораспределения, доли единицы.

Оптимальным планом проведения работ будет являться такой минимальный набор объектов сети газораспределения с конкретным видом работ по каждому объекту, который обеспечит достижение целевого значения показателя безопасности сети газораспределения, то есть выполнение неравенства:

$$\Delta P \leq \sum_{i=1}^n (\Delta P_{ij}^o \cdot x_{ij}), \tag{7}$$

где i – порядковый номер объекта сети газораспределения; n – количество объектов сети газораспределения, шт; j – индекс вида работ – капитальный ремонт, реконструкция или техническое

перевооружение; ΔP_{ij}^o – прирост показателя безопасности сети газораспределения в результате выполнения j -ого вида работ на i -ом объекте, доли единицы; x_{ij} – переменная, принимающая значение «1» при выборе i -ого объекта сети газораспределения и j -ого вида работ на i -ом объекте, «0» – в случае если i -ый объект сети газораспределения или j -ый вид работ на объекте не выбраны.

Прирост показателя безопасности сети газораспределения в результате выполнения j -ого вида работ на i -ом объекте ΔP_{ij}^o , доли единицы, определяется по формуле:

$$\Delta P_{ij}^o = P_{ij}^{пл} - P^{пл}, \tag{8}$$

где $P_{ij}^{пл}$ – прогнозируемое значение показателя безопасности сети газораспределения в завершении периода планирования при условии, что на i -ом объекте сети газораспределения выполнен j -ый вид работ, доли единицы.

При этом, имея ограниченные объемы денежных средств на выполнение данных работ, очевидно, что ГРО должны обладать правилом

определения оптимального набора объектов, на которых необходимо проводить данные работы.

Сам факт отказа сети газораспределения, хоть и является наиболее значимым событием по результатам проведенного анализа, не будет единственным, который следует учитывать при управлении показателем безопасности. Отсутствие подачи газа для некоторых категорий потребителей является однозначно недопустимым (предприятия с непрерывным производственным циклом). Часть потребителей обеспечивает население другими коммунальными ресурсами, выработка которых происходит за счет сжигания газа (электричество, ГВС, отопление), и нарушение транспортировки газа для данных потребителей также является существенным негативным событием, которого следует избегать. Одновременно с этим, в договорах на транспортировку газа могут быть предусмотрены штрафные санкции для ГРО в случае непоставки газа. Кроме того, непосредственно количество передаваемого газа является основанием для получения ГРО тарифа за транспортировку газа по сетям газораспределения.

Таким образом, при планировании работ по модернизации, капитальному ремонту и реконструкции объектов сети газораспределения с применением показателя безопасности следует учитывать, в том числе характеристики объектов, которые снабжаются газом (потребителей газа). Объекты сети газораспределения различаются по степени своей ответственности в обеспечении безопасности конкретной сети газораспределения в целом, и оцениваться они должны с учетом этой значимости. Под степенью ответственности объекта сети газораспределения понимается комплексный показатель, характеризующий совокупность назначения потребителей газа, которым транспортируется газ через данный объект сети газораспределения, в федеральном и региональном масштабе, доли дохода ГРО от транспортировки газа по данному объекту сети газораспределения и потенциальный материальный ущерб ГРО в случае отказа объекта.

Проанализировав все характеристики снабжаемых объектов газом, а также объемы и условия транспортируемого газа, для каждого объекта сети газораспределения в настоящей работе предлагается ранжирование объектов сети газораспределения по степени ответственности, приведенной в таблице 5. Чем ответственнее объект сети газораспределения, тем выше его класс.

Кроме того, на части объектов в обязательном порядке должны проводиться процедуры по капитальному ремонту или реконструкции в рамках решений по результатам регламентных работ

на данных объектах или требований нормативных правовых актов.

Выбор объектов сети газораспределения, подлежащих капитальному ремонту, реконструкции или техническому перевооружению, и конкретного организационно-технического мероприятия (вида работ) для каждого объекта для обеспечения достижения целевого значения показателя безопасности сети газораспределения выполняются на основании оценки эффективности проведения на каждом объекте каждого организационно-технического мероприятия (вида работ) при условии возможности (технической и экономической) их проведения.

При этом в план проведения работ целесообразно включать такие объекты сети газораспределения и виды работ на них, для которых показатель эффективности j -ого вида работ на i -ом объекте $\mathfrak{E}_{ij}^{\circ}$, км⁻¹ (шт.⁻¹) максимальный. Показателем эффективности организационно-технических мероприятий (видов работ) на объектах сети газораспределения является удельный прирост показателя безопасности сети газораспределения в результате выполнения данных мероприятий (видов работ) с учетом класса объекта.

Показатель эффективности j -ого вида на i -ом объекте сети газораспределения, км⁻¹ (шт.⁻¹):

$$\mathfrak{E}_{ij}^{\circ} = \frac{\Delta P_{ij}^{\circ} \times x_i^j}{L_i \times k_i^k}, \quad (9)$$

где L_i – протяженность i -ого объекта сети газораспределения, км. Для ПРГ принимает значение «1»; k_i^k – коэффициент класса для i -ого объекта сети газораспределения, определяемый по таблице 3.

Очевидно, что для ГРО, выполняющего эксплуатацию тысячи газопроводов и ПРГ, выполнение изложенных расчетов крайне затруднительно. С целью автоматизации требуемых расчетов разработано специальное программное обеспечение, позволяющее по имеющимся исходным данным определить необходимость выполнения мероприятий, а также определить перечень конкретных газопроводов и ПРГ, на которых данные мероприятия должны быть проведены. Программный модуль позволяет импортировать исходные данные для расчета.

Для возможности выполнения расчетов созданы специальные формы для заполнения исходных данных в формате MS Excel. Для каждой ячейки форм заданы правила заполнения исходной информации, исключая внесение некорректных сведений. Программный модуль автоматически проверяет формат внесенной информации в каждую конкретную ячейку. Если формат

внесенной информации не совпадает с предусмотренными правилами форматом, пользователю будет выдано соответствующее уведомление. Расчет при этом не возможен до устранения несоответствия. После расчета показателей безопас-

ности сети подтверждается корректность внесенной информации и становится доступна функция расчетов и составления оптимального плана работ по модернизации, капитальному ремонту и реконструкции (рис. 1).

Таблица 5

Классификатор объектов сети газораспределения

Номер класса	Признаки класса	Коэффициент класса k^k
I	Транспортировка (редуцирование) газа с рабочим давлением свыше 0,6 МПа в населенных пунктах	1
	Транспортировка газа до объектов тепло- и электроэнергетики: ТЭС, ГРЭС, ГЭС, ТЭЦ, районные котельные с расходом газа свыше 10 тыс. м ³ /ч	
II	Транспортировка (редуцирование) газа с рабочим давлением свыше 0,3 до 0,6 МПа в населенных пунктах	1,3
	Транспортировка (редуцирование) газа с рабочим давлением свыше 0,6 МПа за пределами населенных пунктов	
	Транспортировка газа до промышленных объектов с непрерывным технологическим процессом	
III	Транспортировка (редуцирование) газа с рабочим давлением свыше 0,005 до 0,3 МПа в населенных пунктах	1,5
	Транспортировка (редуцирование) газа с рабочим давлением свыше 0,3 до 0,6 МПа за пределами населенных пунктов	
	Транспортировка газа до объектов социального назначения (больницы, школы, детские сады и др.), в т.ч. объектов теплоэнергетики, снабжающие теплом объекты социального назначения	
V	Транспортировка (редуцирование) газа с рабочим давлением не более 0,005 МПа в населенных пунктах	2
	Транспортировка (редуцирование) газа с рабочим давлением не более 0,3 МПа за пределами населенных пунктов	
	Транспортировка газа до прочих потребителей	

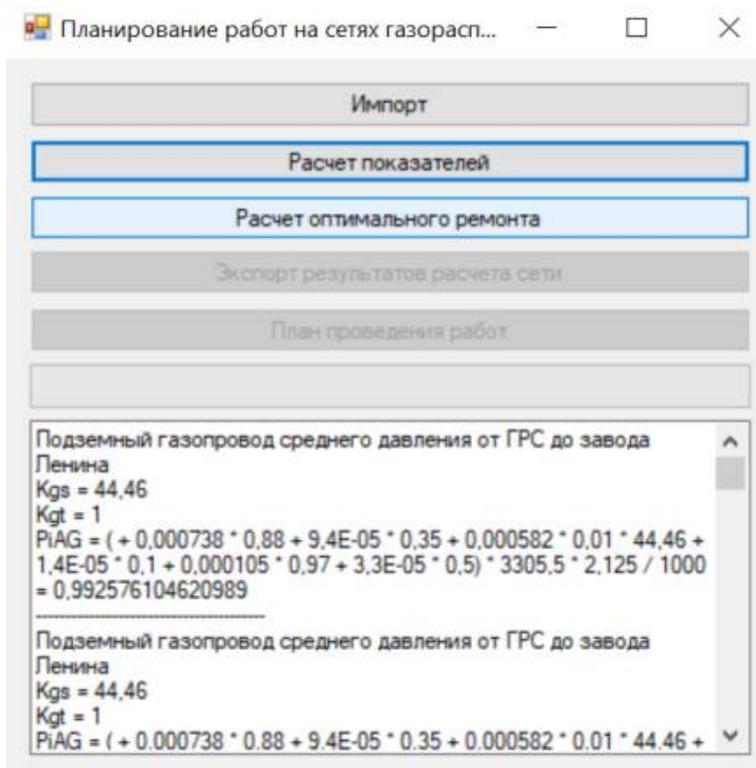


Рис. 1. Результаты расчета показателей

Ниже в качестве примера приведен перечень исходных данных для типа объектов «Газопроводы». Для всех участков газопроводов, незави-

симо от материала труб, из которых они построены, в обязательном порядке заполняются столбцы:

Населенный пункт	Идентификатор (Инвентарный номер/номер эксплуатационного паспорта)	Наименование объекта в соответствии с паспортом	Материал трубы газопровода	Тип газопровода	Место расположения газопровода	Способ прокладки газопровода	Расположение по карте-схеме от ПК ___ до ПК ___	Протяженность, м	Давление газа рабочее, МПа	Наружный диаметр газопровода, мм	Год ввода газопровода в эксплуатацию, год	Наличие особых природных и климатических условий	Характеристика потребителей, до которых транспортируется газ
------------------	--	---	----------------------------	-----------------	--------------------------------	------------------------------	---	------------------	----------------------------	----------------------------------	---	--	--

Для стальных подземных газопроводов дополнительно заполняются столбцы:

Опасное влияние блуждающих токов	Коррозионная агрессивность грунта	Количество выявленных сквозных коррозионных повреждений (СКП) металла трубы газопровода за все время эксплуатации	Рост удельного количества СКП, выявленных за последние 5 лет по сравнению с предыдущим пятилетием	Количество выявленных повреждений защитного покрытия (ПЗП) за все время эксплуатации	Рост удельного количества ПЗП, выявленных за последние 5 лет по сравнению с предыдущим пятилетием	Результаты последнего технического обследования газопровода					
						адгезия защитного покрытия	переходное сопротивление защитного покрытия	комплексный показатель защищенности газопровода средствами ЭХЗ	выявленные повреждения защитного покрытия	выявленные коррозионные повреждения газопровода	выявленные дефекты сварных соединений

Выводы.

1. По результатам проведенного анализа требований нормативной документации в отношении регулирования безопасности, надежности и качества предоставляемых услуг газораспределительными организациями показал, было установлено, что показатель надежности, характеризующий фактическую вероятность нарушения поставки транспортируемого ресурса, является достаточно весомым показателем для сети газораспределения, необходимо регулировать, поскольку, обеспечивая надежность сети газораспределения с учетом фактического технического состояния объектов сети газораспределения, ГРО в равной степени будет обеспечивать безопасность сети газораспределения.

2. В качестве критерия, относительно которого следует планировать работы по модернизации, капитальному ремонту и реконструкции объектов сети газораспределения, предлагается использовать показатель безопасности, основанный на величине параметра потока отказов для различных видов/типов объектов и их фактического технического состояния.

3. Разработанная методика (алгоритм) планирования мероприятий на любой период времени позволяет полноценно определить фактические, целевые и плановые показатели безопасности сети, принять решение о достаточности уровня планируемого показателя безопасности относительно целевого значения, и принять решение о необходимости проведения мероприятий на конкретных газопроводах и пунктах редуцирования газа. Трудоемкость выполнения расчетов в полной мере компенсируется специально разработанным программным модулем. Использование методики возможно, как в целях формирования плана работ для каждой конкретной ГРО, так и в качестве инструмента регулирования затрат ГРО для единой управляющей компании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства РФ от 29 октября 2010 г. N 870 «Об утверждении технического регламента о безопасности сетей газораспределения и газопотребления». [Электронный

- ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902243701> (дата обращения: 01.03.2022).
2. Фастов Л.М., Медведева О.Н. Надежность систем газоснабжения. Саратов: СГТУ, 2012. 148 с.
 3. Жила В.А., Гусарова Е.А., Гулюкин М.Д. Способы повышения надёжности систем газораспределения в городском строительстве // Инновации и инвестиции. 2017. №11. С. 139–141.
 4. Alzbutas R., Iesmantas T., Povilaitis M., Vitkutė J. Risk and uncertainty analysis of gas pipeline failure and gas combustion consequence // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2014. No. 28. Pp. 1431–1446. doi: 10.1007/s00477-013-0845-4.
 5. PHMSA Pipeline Failure Investigation Reports, U.S. Department of Transportation, Pipeline & Hazardous Materials Safety Administration, Data & Statistic. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.phmsa.dot.gov/> (дата обращения: 01.03.2022).
 6. Кускильдин Т.Р., Дмитриев М.Е., Мастобаев Б.Н. Актуальные проблемы развития газовых сетей и основные направления повышения эксплуатационной надёжности газораспределительных систем // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2016. № 3. С. 40–45.
 7. Uspuras E., Rimkevicius S., Povilaitis M., Iesmantas T., Alzbutas R. Hazard analysis and consequences assessment of gas pipeline rupture and natural gas explosion // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2011. doi: 10.2495/RAV110451.
 8. Aulia R., Tan H., Sriramula S. Dynamic reliability model for subsea pipeline risk assessment due to third-party interference // Journal of Pipeline Science and Engineering. 2021. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 277–289. doi:10.1016/j.jpse.2021.09.006.
 9. Самедова Э.Н., Глущенко А.В. Разработка многоцелевой системы учета затрат вертикально интегрированных газораспределительных организаций // Science Journal of VolSU. Global Economic System. 2012. №1 (20). С. 252–260.
 10. Сижажева С.С., Цалиева Е.В. Классификация производственных затрат в газораспределении // Вестник Чебоксарского кооперативного института. 2010. №1. С. 64–67.
 11. Торчинский Я.Л. Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем. Л.: Недра, 1988. 240 с.
 12. He Z., Zhou W. Fatigue reliability analysis of dented pipelines // Journal of Pipeline Science and Engineering. 2021. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 290–297. doi:10.1016/j.jpse.2021.08.004.
 13. Khan F., Yarveisy R., Abbassi R. Cross-country pipeline inspection data analysis and testing of probabilistic degradation models // Journal of Pipeline Science and Engineering. 2021. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 308–320. doi:10.1016/j.jpse.2021.09.004
 14. Orasheva J. The Effect of Corrosion Defects on the Failure of Oil and Gas Transmission Pipelines: A Finite Element Modeling Study. UNF Graduate Theses and Dissertations. 2017. 117 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://digitalcommons.unf.edu/etd/763>. (дата обращения: 01.03.2022).
 15. Mahmoodian M, Chun Q. Li. Chapter 11. Stochastic failure analysis of defected oil and gas pipelines // Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Oil and Gas Industry. Butterworth-Heinemann. 2016. Pp. 235–255. doi:10.1016/B978-0-08-100117-2.00014-5.
 16. Peng Xing-yu, Yao Dong-chi, Liang Guangchuan, Yu Jian-sheng, He Sha. Overall reliability analysis on oil/gas pipeline under typical third-party actions based on fragility theory // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. Vol. 34. Pp. 993–1003. doi:10.1016/j.jngse.2016.07.060.
 17. Kraidi L., Shah R., Matipa W., Borthwick F. An investigation of mitigating the safety and security risks allied with oil and gas pipeline projects // Journal of Pipeline Science and Engineering. 2021. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 349–359. doi: 10.1016/j.jpse.2021.08.002.
 18. Bariha N., Mishra I. M., Srivastava V. C. Hazard analysis of failure of natural gas and petroleum gas pipelines // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2016. Vol. 40. Pp. 217–226. doi:10.1016/j.jlp.2015.12.025.
 19. El-Abbasy M.S., Senouci A., Zayed T., Mirahadi F., Parvizsedghy L. Artificial neural network models for predicting condition of offshore oil and gas pipelines // Automation in Construction. 2014. Vol. 45. Pp. 50–65. doi:10.1016/j.autcon.2014.05.003.
 20. Guo C., Khan, F., Imtiaz, S. Risk assessment of process system considering dependencies // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2018. Vol. 55. Pp. 204–212. doi:10.1016/j.jlp.2018.06.014.
 21. Guo Y., Meng X., Wang D., Meng T., Liu S., He, R. Comprehensive risk evaluation of long-distance oil and gas transportation pipelines using a fuzzy Petri net model // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. Vol. 33. Pp. 18–29. doi:10.1016/j.jngse.2016.04.052.
 22. Kabir S. An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis // Expert Systems with Applications. 2017. Vol. 77. Pp. 114–135. doi:10.1016/j.eswa.2017.01.058.
 23. Shan K., Shuai J., Xu K., Zheng W. Failure probability assessment of gas transmission pipelines

based on historical failure-related data and modification factors // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2018. Vol. 52. Pp. 356–366. doi:10.1016/j.jngse.2018.01.049.

24. Yang E.-N., Fu C.-M., Dong C., Qu S., Tian J.-F., Zhang Z.-F. Failure analysis of a leaked oil pipeline // Case Studies in Engineering Failure Analysis. 2015. Vol. 4. Pp. 88–93. doi:10.1016/j.csefa.2015.09.004.

Информация об авторах

Медведева Оксана Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела. E-mail: medvedeva-on@mail.ru. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77.

Чиликин Александр Юрьевич, генеральный директор. E-mail: chilikin.063@gmail.com. ООО «Газпром межрегионгаз Киров». Россия, 610004, Киров, ул. Казанская, д. 18.

Поступила 20.03.2022 г.

© Медведева О.Н., Чиликин А.Ю., 2022

^{1,*}Medvedeva O.N., ²Chilikin A.Yu.

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

²Gazprom Mezhrefiongaz Kirov LLC

*E-mail: medvedeva-on@mail.ru

DEVELOPMENT OF ACTIVITIES TO IMPROVE THE SECURITY OF THE GAS DISTRIBUTION NETWORK

Abstract. The limitation of gas distribution organizations (GDO) in financial resources that can be directed to continuous modernization and maintenance of gas distribution network facilities in a condition that provides the necessary level of safety requires solving an optimization problem. In turn, the task of optimizing the resources spent on carrying out the relevant activities requires the selection of criteria against which the goal of the activities will be determined and its achievement through these activities will be assessed. The analysis of accident statistics at gas distribution network facilities of JSC Gazprom Gas Distribution Kirov for 2016–2021 is carried out. A methodology for planning work on modernization, overhaul and reconstruction of gas distribution network facilities is proposed. It takes into account the safety indicator based on the value of the failure rate parameter for various types/types of facilities and their actual technical condition. The required initial data on the actual values of the desired safety indicator for a certain period are collected and a mechanism for managing the GDO costs is developed to ensure the required level of safety of gas distribution networks. Ensuring the reliability of the gas distribution network, taking into account the actual technical condition of the gas distribution network facilities, the GDO will equally ensure the safety of the gas distribution network.

Keywords: natural gas, safety, gas distribution network, reliability, gas distribution organization, accident-free operation, failure.

REFERENCES

1. Decree of the Government of the Russian Federation of October 29, 2010. No. 870 "On approval of the technical regulation on the security of gas distribution and gas consumption networks" [Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 29 oktyabrya 2010. N 870 «Ob utverzhdenii tekhnicheskogo reglamenta o bezopasnosti setej gazoraspredeleniya i gazopotrebleniya»]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902243701> (date of treatment: 01.03.2022). (rus)
2. Fastov L.M., Medvedeva O.N. Reliability of gas supply systems [Nadezhnost' sistem gazosnabzheniya]. Saratov: SSTU, 2012. 148 p. (rus)
3. Zhila V.A., Gusarova E.A., Gulyukin M.D. Ways to improve the reliability of gas distribution systems in urban construction [Sposoby povysheniya

nadozhnosti sistem gazoraspredeleniya v gorodskom stroitel'stve]. Innovation and investment. 2017. No. 11. Pp. 139–141. (rus)

4. Alzbutas R., Iesmantas T., Povilaitis M., Vitkutė J. Risk and uncertainty analysis of gas pipeline failure and gas combustion consequence. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2014. No. 28. Pp. 1431–1446. doi:10.1007/s00477-013-0845-4.

5. PHMSA Pipeline Failure Investigation Reports, U.S. Department of Transportation, Pipeline & Hazardous Materials Safety Administration, Data & Statistic. 2021. URL: <https://www.phmsa.dot.gov/> (date of treatment: 01.03.2022).

6. Kuskildin T.R., Dmitriev M.E., Mastobaev B.N. Actual problems of development of gas net-

works and the main directions for improving the operational reliability of gas distribution systems [Aktual'nyye problemy razvitiya gazovykh setey i osnovnyye napravleniya povysheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti gazoraspredeletel'nykh]. Transport and storage of petroleum products and hydrocarbons. 2016. No. 3. Pp. 40–45. (rus)

7. Uspuras E., Rimkevicius S., Povilaitis M., Iesmantas T., Alzbutas R. Hazard analysis and consequences assessment of gas pipeline rupture and natural gas explosion. WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2011. doi:10.2495/RAV110451.

8. Aulia R., Tan H., Sriramula S. Dynamic reliability model for subsea pipeline risk assessment due to third-party interference. Journal of Pipeline Science and Engineering. 2021. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 277–289. doi:10.1016/j.jpse.2021.09.006.

9. Samedova E.N., Glushchenko A.V. Development of a multi-purpose cost accounting system for vertically integrated gas distribution organizations [Razrabotka mnogotselevoy sistemy ucheta zatrat vertikal'no integrirovannykh gazoraspredeletel'nykh organizatsiy]. Science Journal of VolSU. Global Economic System. 2012. No. 1 (20). Pp. 252–260. (rus)

10. Sizhazheva S.S., Tsalieva E.V. Classification of production costs in gas distribution [Klassifikatsiya proizvodstvennykh zatrat v gazoraspredele-nii]. Bulletin of the Cheboksary Cooperative Institute. 2010. No. 1. Pp. 64–67. (rus)

11. Torchinsky Ya.L. Optimization of designed and operated gas distribution systems [Optimizatsiya proyektiruyemykh i ekspluatiruyemykh gazoraspredeletel'nykh sistem]. Leningrad: Nedra, 1988. 240 p. (rus).

12. He Z., Zhou W. Fatigue reliability analysis of dented pipelines. Journal of Pipeline Science and Engineering. 2021. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 290–297. doi:10.1016/j.jpse.2021.08.004.

13. Khan F., Yarveysy R., Abbassi R. Cross-country pipeline inspection data analysis and testing of probabilistic degradation models. Journal of Pipeline Science and Engineering. 2021. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 308–320. DOI:10.1016/j.jpse.2021.09.004.

14. Orasheva J. The Effect of Corrosion Defects on the Failure of Oil and Gas Transmission Pipelines: A Finite Element Modeling Study. UNF Graduate Theses and Dissertations. 2017. 117 p. <https://digitalcommons.unf.edu/etd/763>. (data of treatment: 01.03.2022).

15. Mahmoodian M., Chun Q. Li. Chapter 11. Stochastic failure analysis of defected oil and gas pipelines. Handbook of Materials Failure Analysis

with Case Studies from the Oil and Gas Industry. Butterworth-Heinemann. 2016. Pp. 235–255. doi:10.1016/B978-0-08-100117-2.00014-5.

16. Peng Xing-yu, Yao Dong-chi, Liang Guangchuan, Yu Jian-sheng, He Sha. Overall reliability analysis on oil/gas pipeline under typical third-party actions based on fragility theory. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. Vol. 34. Pp. 993–1003. doi:10.1016/j.jngse.2016.07.060.

17. Kraidi L., Shah R., Matipa W., Borthwick F. An investigation of mitigating the safety and security risks allied with oil and gas pipeline projects. Journal of Pipeline Science and Engineering. 2021. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 349–359. doi:10.1016/j.jpse.2021.08.002.

18. Bariha N., Mishra I. M., Srivastava V. C. Hazard analysis of failure of natural gas and petroleum gas pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2016. Vol. 40. Pp. 217–226. doi:10.1016/j.jlp.2015.12.025

19. El-Abbasy M.S., Senouci A., Zayed T., Mirahadi F., Parvizsedghy L. Artificial neural network models for predicting condition of offshore oil and gas pipelines. Automation in Construction. 2014. Vol. 45. Pp. 50–65. doi:10.1016/j.autcon.2014.05.003.

20. Guo C., Khan, F., Imtiaz, S. Risk assessment of process system considering dependencies Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2018. Vol. 55. Pp. 204–212. doi:10.1016/j.jlp.2018.06.014.

21. Guo Y., Meng X., Wang D., Meng T., Liu S., He, R. Comprehensive risk evaluation of long-distance oil and gas transportation pipelines using a fuzzy Petri net model. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. Vol. 33. Pp. 18–29. doi:10.1016/j.jngse.2016.04.052.

22. Kabir S. An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis. Expert Systems with Applications. 2017. Vol. 77. Pp. 114–135. doi:10.1016/j.eswa.2017.01.058.

23. Shan K., Shuai J., Xu K., Zheng W. Failure probability assessment of gas transmission pipelines based on historical failure-related data and modification factors. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2018. Vol. 52. Pp. 356–366. doi:10.1016/j.jngse.2018.01.049.

24. Yang E.-N., Fu C.-M., Dong C., Qu S., Tian J.-F., Zhang Z.-F. Failure analysis of a leaked oil pipeline. Case Studies in Engineering Failure Analysis. 2015. Vol. 4. Pp. 88–93. doi:10.1016/j.csefa.2015.09.004.

Information about the authors

Medvedeva, Oksana N. DSc, Assistant professor. E-mail: medvedeva-on@mail.ru. Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. Russia, 410054, Saratov, st. Politekhnikeskaya, 77.

Chilikin, Alexander Yu. General Director. E-mail: chilikin.063@gmail.com. Gazprom Mezhrefiongaz Kirov LLC. Russia, 610004, Kirov, st. Kazanskaya, 18.

Received 20.03.2022

Для цитирования:

Медведева О.Н., Чиликин А.Ю. Разработка методики планирования мероприятий по модернизации, капитальному ремонту и реконструкции объектов сети газораспределения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 9. С. 50–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-50-62

For citation:

Medvedeva O.N., Chilikin A.Yu. Development of activities to improve the security of the gas distribution network. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 9. Pp. 50–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-50-62