



УДК 696.2:621.643.8 (470.325)

И. А. КОРОТЕНКО, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции;
Д. Ю. СУСЛОВ, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры теплогазоснабжения
и вентиляции; **Р. С. РАМАЗАНОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры
теплогазоснабжения и вентиляции

АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИКИ НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова».

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Тел.: (904) 534-16-87, эл. почта: suslov1687@mail.ru

Ключевые слова: система газоснабжения, надежность, неисправности, методика
диагностики.

В статье проведен анализ неисправностей системы газоснабжения, в результате которого установлены наиболее и наименее надежные элементы системы. Предложена методика диагностики систем газоснабжения, основанная на систематическом мониторинге состояния и параметрах надежности отдельных элементов системы, которая позволяет уменьшить число отказов газопроводов и повысить надежность работы всей системы газоснабжения.

Одной из основных задач нашей страны является развитие систем газоснабжения и газификация регионов Российской Федерации, чтобы все домовладения имели доступ к природному газу. При этом одним из основных критериев при разработке и проектировании новых систем газоснабжения является надежность, от которой зависит и безопасность работы.

Исследованием и повышением надежности систем газоснабжения занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Так, в работе Седака В. С., Рыбникова Н. Я. и Каслина Н. Д. [1] на примере г. Харькова проанализированы наиболее ключевые факторы снижения надежности и выявлены причины их возникновения. Также они поднимают проблематику нехватки и недостоверности используемых данных, применяемых для принятия решений при проектировании. В труде Матвеевского В. Р. [2] в общем виде изложены основные понятия, определения и критерии, используемые в теории надежности. В его работе математически описан вывод основных критериев и формул для расчета надежности, также он связывает надежность с потерями производительности. В работе Сазоновой С. А. [3] объясняется связь между надежностью и производительностью предприятий в зависимости от ситуаций, то есть существует значение аварийной подачи (или другого параметра, который важен предприятию) для каждого объекта, ниже которого если оказывается значение, то система считается неисправной. В работе [4] математически описана модель оценивания диагностики систем газоснабжения, в ней ставится задача математического обнаружения утечки газа и ее решение. В работе [5] рассмотрены вопросы резервирования и оценки надежности объекта, а также



создания методики, позволившей объединить различные параметры объектов. Карасевич А. М. и Сухарева М. Г. в работе [6] описывают состояние и проблемы в области транспортировки газа, резервировании его, устаревшей нормативной базы, которая не учитывает новые технологии и способы повышения надежности, отсутствует регламент таких работ, и специалистам приходится самим придумывать способы повышения надежности с течением времени. Также Карасевич А. М. в статье [7] описал и предложил существующие модели, способствующие оценке надежности системы газоснабжения, как небольших систем газоснабжения, так и крупномасштабных сетей. В работе [8] представлены пути повышения надежности некоторых регионов страны и результаты расчетов надежности участков сети. В работе Джафарова Т. В. [9] описаны способы повышения надежности в процессе реконструкции системы, так как многие сети уже «морально» устарели и не способны поддерживать рабочие режимы давления. Также он рассматривает математический способ [10], который может найти место закупорки газопровода, что позволяет предотвращать сильные закупорки и осуществлять поиск приблизительных мест аварий еще до приезда на участок сети. Головач Ю. А. и Захаров В. И. [11] приводят расчет параметров потока отказов для разных диаметров газопроводов в г. Горловке.

Исследованием повышения надежности систем газоснабжения занимаются также зарубежные ученые. Например, *T. Thepmanee, C. Nachasingha* и *S. Kumttool* [12] представили методику повышения надежности системы подачи природного газа и сжиженного природного газа на газотурбинные установки электростанции. В работе [13] автор обобщил мнения специалистов, изучающих теорию надежности в системе газоснабжения, разделил на составляющие и направления, влияющие на повышение надежности. Многие работы посвящены определению факторов, влияющих на надежность, но отсутствуют методики и алгоритмы, позволяющие использовать их на практике. Поэтому актуальным является анализ неисправностей и разработка методики мониторинга системы газоснабжения, которая позволит повысить надежность ее работы. В качестве исходных данных для исследования использовались фактические данные по аварийности системы газоснабжения муниципального округа Белгородской области за 2020 год.

Ежедневно на территории Российской Федерации на каком-либо участке сети газоснабжения происходит аварийная ситуация. Если рассматривать систему газоснабжения всей страны как единое целое, то эта система газоснабжения имеет не самую высокую степень надежности. Ежедневно появляются ситуации, из-за которых некоторая доля потребителей остается без газа, или же только частично им снабжается и не может полностью обеспечить потребителя необходимым объемом газа.

Проанализируем надежность и неисправности системы газоснабжения одного муниципального округа Белгородской области. На рис. 1 представлено распределение неисправностей системы газоснабжения по месяцам за 2020 год. Из графика видно, что наибольший пик неисправностей происходит в межсезонные месяцы: март, май, сентябрь и октябрь. Это связано с тем, что после продолжительного простоя оборудования в летний период, а также наиболее активного периода эксплуатации газоиспользующего оборудования в зимний период, потребитель сталкивается с тем, что оборудование или не запускается, или же работает не в оптимальном режиме. Наименьшее количество



неисправностей наблюдается в летний период, что связано с уменьшением времени работы газоиспользующего оборудования.

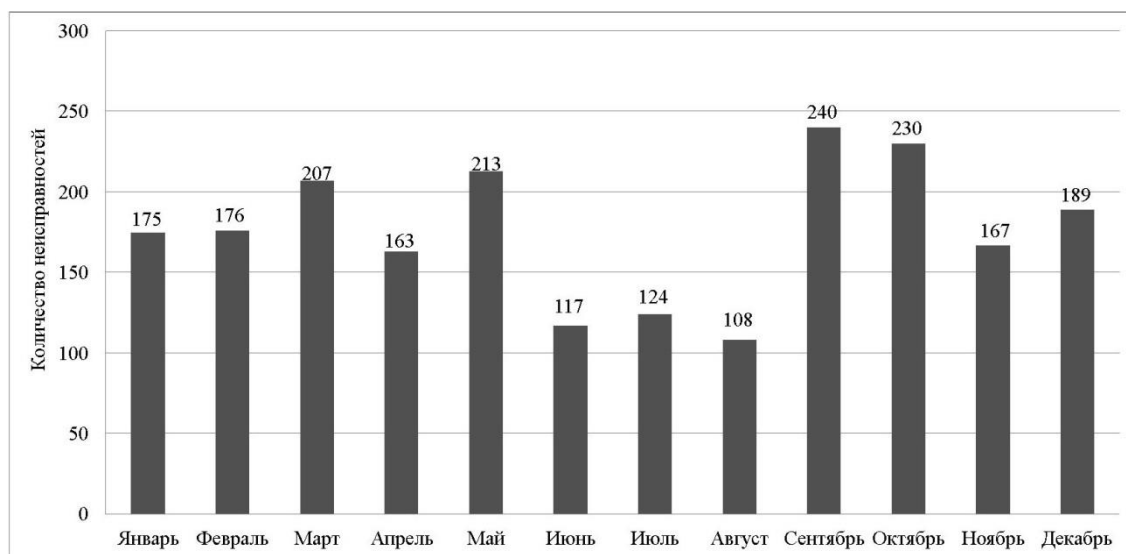


Рис. 1. Распределение неисправностей по месяцам

На рис. 2 представлена диаграмма по видам неисправностей за год. За 2020 год поступило 2109 заявлений, связанных с проблемами газоснабжения потребителей. Из них 267 заявлений оказались ложными, а проблемы неисправности газоиспользующего оборудования не связаны с работой системы газоснабжения. Наибольшая доля неисправностей приходится на внутридомовые газопроводы и арматуру – 1582 случая, что составляет 75 %. При этом наибольшее количество неисправностей приходится на запорную арматуру – 45 %, при которых наблюдаются повреждения прокладок и уплотнителей запорной арматуры, а также нарушения целостности элементов запорной арматуры, вследствие чего происходят утечки газа и негерметичность перекрытия потока газа. Также большое число неисправностей (22 %) приходится на резьбовые соединения внутридомовых газопроводов, вследствие чего наблюдаются утечки газа. 10 % неисправностей приходится на счетчики газа, в результате чего фиксируются неверные показания и также наблюдаются утечки газа.

После рассмотренных выше идут неисправности газового оборудования. Данный вид неисправностей очень обширен по типу оборудования и может затрагивать разное количество потребителей. Например, ремонт газовых плит или же водонагревателей чаще всего затрагивает только одного потребителя, а ремонт пунктов редуцирования газа может затрагивать намного большее количество потребителей, вплоть до отключения всего микрорайона от сети.

Еще одной проблемой, приводящей к возникновению неисправностей, является самостоятельное подключение или замена газового оборудования. Одной из причин выхода из строя системы газоснабжения является неправильное подключение трубопроводов воды и газа к проточному водонагревателю, что приводит к заполнению газопроводов водой. Если данный случай наблюдается в многоквартирном жилом доме, то без газоснабжения останется только один

потребитель. Но, если это многоквартирный жилой комплекс, то без газа остается большое количество потребителей. Для восстановления работоспособности такой системы газоснабжения необходимо отключить участок газопровода, заполненный водой, затем откачать воду и произвести пуск газа потребителям, вследствие чего время, в течение которого не происходит подача газа, увеличивается.

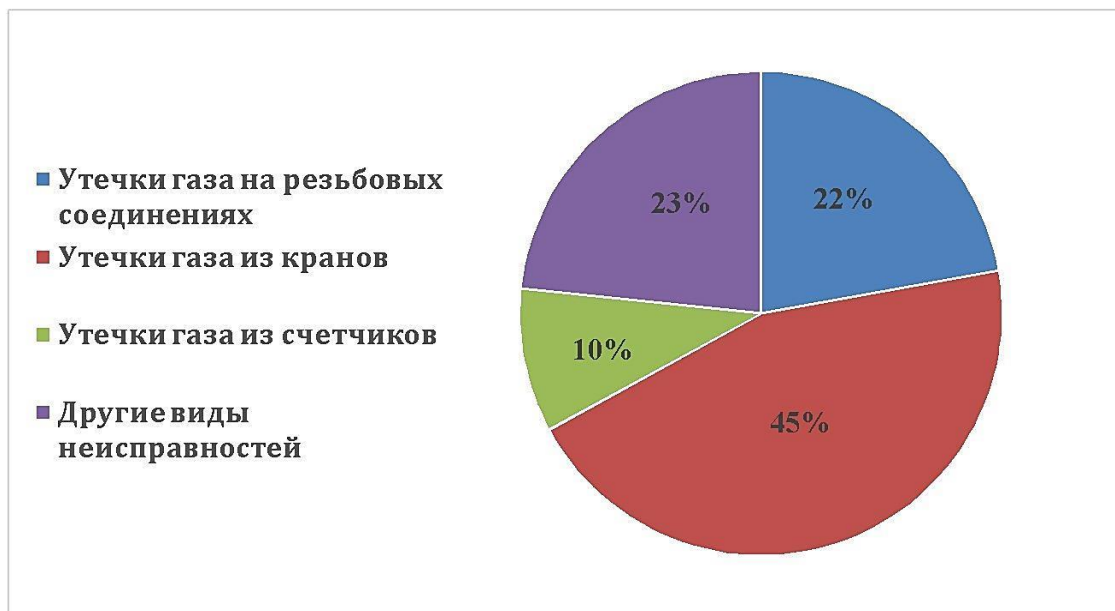


Рис. 2. Распределение по видам неисправностей

Также имеют место проблемы нарушения целостности газопровода, возникающие при коррозионном повреждении стальных трубопроводов, незаконной врезке газопроводов, механическом повреждении газопровода и т.д. Если рассмотренные ранее виды неисправностей приводили к прекращению подачи газа для малого количества потребителей и на относительно короткий срок, то замена участка трубы может привести к тому, что на долгое время произойдет прекращение подачи газа. Из всего перечисленного выше видно, что большая доля неисправностей приходится на газопроводы и оборудование, находящиеся в жилых зданиях, что может привести к скоплению газа в помещениях и возникновению взрывоопасных ситуаций.

Все рассмотренные виды неисправностей повышают вероятность выхода из строя какого-либо элемента и понижают надежность работы всей системы газоснабжения. В настоящее время для повышения надежности систем газоснабжения сети выполняют кольцевыми с двумя и более источниками питания, что позволяет производить подачу газа по резервным газопроводам при выходе из строя одного элемента системы. Кроме создания кольцевой сети, можно также уменьшить вероятность отказа сети с помощью упрощения схемы газоснабжения, уменьшения количества дублирующей запорной арматуры, применения современных и более качественных материалов (в том числе полиэтиленовых труб и элементов). Также важным элементом является систематическая работа с населением (потребителями). Необходимо проводить



регулярные инструктажи потребителей о технике безопасности, мерах предосторожности и правильного применения газоиспользующего оборудования. Также с каждым годом эксплуатации существующей сети газоснабжения появляется проблема снижения проектного срока эксплуатации. Поэтому необходимо контролировать состояние сетей и оборудования систем газоснабжения, чтобы не столкнуться с проблемой аварийного отключения элемента системы, а проекта замены существующей сети нет, и отсутствуют варианты быстрого решения проблемы.

Для решения данных проблем предлагается методика диагностики систем газоснабжения, позволяющая предотвратить аварийные ситуации до их наступления. Алгоритм методики представлен на рис. 3.

Начальным этапом алгоритма является сбор и ввод данных о каждом элементе системы: вид и материал элемента, год монтажа, толщина, тип и материал изоляции, факторы, влияющие на коррозию элементов и т.д. На втором этапе производится ввод критических значений на типовые элементы. Под этим понимаются характеристики элементов, ниже которых недопустимы падение параметров с течением времени. Третьим этапом является автоматизированный расчет надежности элементов и участков системы газоснабжения на основе исходных данных. На четвертом этапе осуществляется выезд бригады и обследование элементов, в результате которого определяются новые текущие параметры, изменившиеся за определенный промежуток времени. При этом межповерочный промежуток времени для разных элементов системы газоснабжения определяется в зависимости от аварийности и наработки на отказ этих элементов, установленных на основе проведенного анализа. При этом на схеме газоснабжения предлагается обозначать газопроводы и элементы в 3 цвета. Зеленый цвет означает, что элемент находится в хорошем состоянии. Желтый цвет означает, что состояние газопровода удовлетворительное – параметры уже не отличные, но еще и не критические. Красный означает, что элемент находится в критическом состоянии и необходимо реагировать, пока он не вышел окончательно из строя. Если состояние элемента не критическое, то вводятся новые параметры на данный элемент. Если состояние элемента критично, то проводятся работы по улучшению состояния элементов и вносятся новые значения в базу данных. Способ улучшения выбирается в зависимости от его состояния (замена элемента, очистка от грязи, пыли и др.).

После внесения новых значений о состоянии элементов производится перерасчет надежности всей системы газоснабжения. Окончательный этап заключается в продолжении систематического мониторинга системы газоснабжения. Применение данной методики позволяет предотвратить неисправности элементов систем газоснабжения и возникновение аварийных ситуаций. Реализация методики на ЭВМ позволит создать интерактивную модель системы газоснабжения, позволяющую оценивать состояние отдельных элементов системы, а также планировать мероприятия по ремонту и модернизации сетей и оборудования системы газоснабжения.

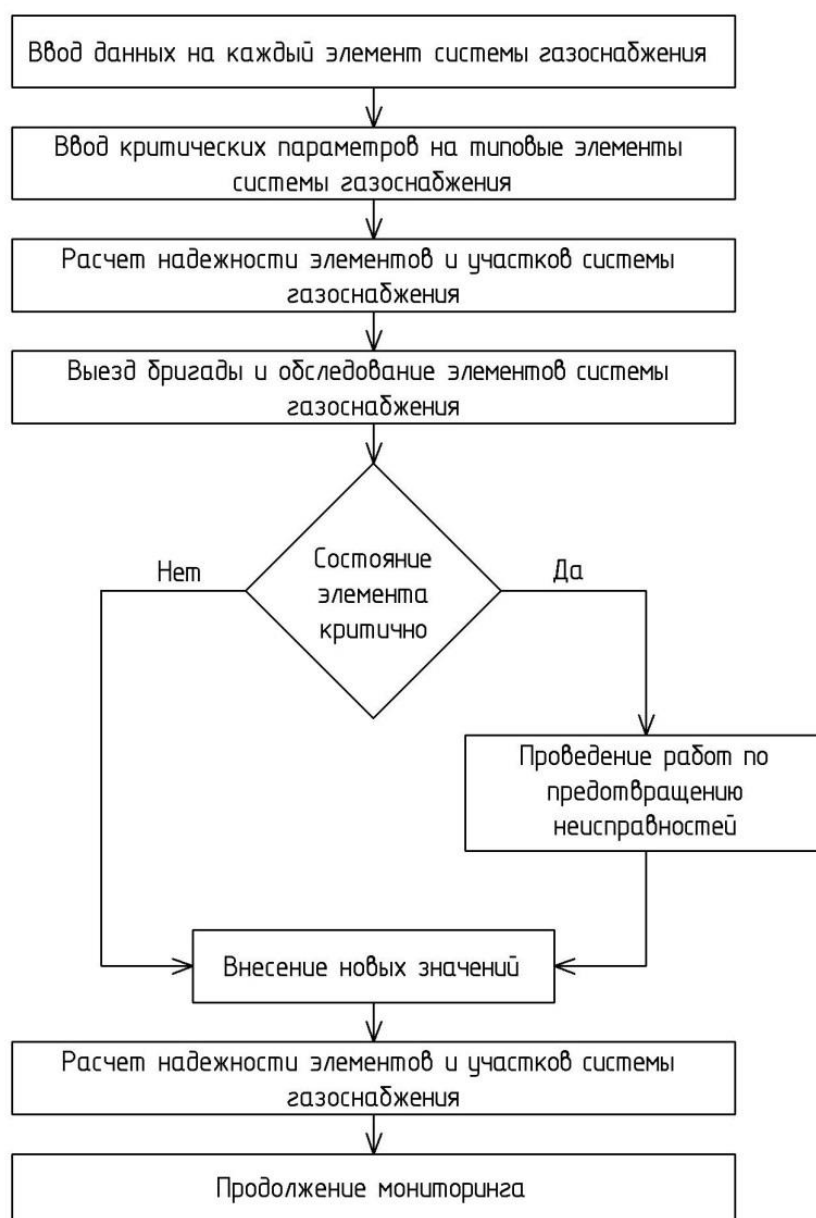


Рис. 3. Алгоритм методики диагностики системы газоснабжения

Выводы

Проведен анализ неисправностей системы газоснабжения муниципального округа Белгородской области, в результате которого установлено, что наибольший пик неисправностей происходит в межсезонные месяцы, а наименьшее количество неисправностей наблюдается в летний период, что связано с уменьшением времени работы газоиспользующего оборудования. Установлено, что наибольшая доля неисправностей приходится на внутридомовые газопроводы и арматуру. При этом наибольшее количество неисправностей приходится на запорную арматуру – 45 %.

Предложена методика диагностики систем газоснабжения, основанная на систематическом мониторинге состоянии элементов и корректировке значений.



Применение данной методики позволяет предотвратить аварийные ситуации на газопроводах и уменьшить число отказов газопроводов, что повышает надежность всей системы газоснабжения.

Работа выполнена с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Седак, В. С. Методика анализа аварийных рисков и прогноза отказов региональных распределительных систем газоснабжения (РРСГ) / В. С. Седак, Н. Я. Рыбников, Н. Д. Каслин // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 5. – С. 70–78.
2. Матвеевский, В. Р. Надежность технических систем : учебное пособие / В. Р. Матвеевский ; Московский государственный институт электроники и математики. – Москва : МИЭМ, 2003. – 113 с. – ISBN 5-94506-063-1.
3. Сазонова, С. А. Оценка надежности работы гидравлических систем по показателям эффективности / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2016. – № 1. – С. 37–39.
4. Сазонова, С. А. Разработка методов и алгоритмов технической диагностики систем газоснабжения : специальность 05.23.03 : диссертация кандидата технических наук / Сазонова Светлана Анатольевна ; Воронежский государственный технический университет. – Воронеж, 2000. – 15 с.
5. Сазонова, С. А. Управление гидравлическими системами при резервировании и обеспечения требуемого уровня надежности / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2016. – № 1. – С. 43–45.
6. Карасевич, А. М. Состояние и проблемы надежности единой и региональных систем газоснабжения / А. М. Карасевич, М. Г. Сухарев // Известия Российской академии наук, энергетика. – 2009. – № 5. – С. 34–40.
7. Карасевич, А. М. Модели надежности газоснабжающих систем / А. М. Карасевич, М. Г. Сухарев // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 7. – С. 149–159.
8. Сухарев, В. М. Проблемы надежности систем распределения газа / В. М. Сухарев // Известия Российской академии наук, энергетика. – 2009. – № 5. – С. 24–33.
9. Джафаров, Т. В. О повышении надежности систем газоснабжения / Т. В. Джафаров // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. – 2009. – № 1. – С. 1–6. – URL: https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov_1.pdf.
10. Джафаров, Т. В. О повышении эффективности функционирования газопроводов на основе диагностики состояния их внутренней поверхности при стационарном режиме / Т. В. Джафаров // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. – 2009. – № 1. – С. 1–11. – URL: https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov_2.pdf.
11. Головач, Ю. А. Расчет надежности тупиковой газовой сети / Ю. А. Головач, В. И. Захаров // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2014. – № 3. – С. 13–19.
12. Therpmatee, T. Reliability enhancement of LNG fuel gas supply system in combined-cycle power plant / T. Therpmatee, C. Nachasingha, S. Kummool // Energy Reports. – 2020. – № 6. – P. 929–933.
13. Khudoykulov, U. Ch. Reliability of gas supply system and quality indicators and ways to increase them / U. Ch. Khudoykulov // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2021. – Volume 8. – Issue 2. – P. 16735–16739.



KOROTENKO Ilya Aleksandrovich, postgraduate student of the chair of heat and gas supply and ventilation; **SUSLOV Denis Yuryevich**, doctor of technical sciences, professor of the chair of heat and gas supply and ventilation; **RAMAZANOV Rafshan Salmanovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply and ventilation

ANALYSIS OF GAS SUPPLY SYSTEM FAILURES AND DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC METHODS USING THE EXAMPLE OF THE BELGOROD REGION

Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov.

46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia.

Tel.: (904) 534-16-87; e-mail: suslov1687@mail.ru

Key words: gas supply system, reliability, malfunctions, diagnostic methods.

The article analyzes the malfunctions of the gas supply system, as a result of which the most and least reliable elements of the system are identified. A methodology for the diagnosis of gas supply systems is proposed, based on systematic monitoring of the condition and reliability parameters of individual system elements, which makes it possible to reduce the number of pipeline failures and increase the reliability of the entire gas supply system.

REFERENCES

1. Sedak V. S., Rybnikov N. Ya., Kaslin N. D. Metodika analiza avariynykh riskov i prognoza otkazov regionalnykh raspredelitelnykh sistem gazosnabzheniya (RRSG) [Methodology for analyzing emergency risks and predicting failures of regional gas distribution systems]. Energobezopasnost. Energetika. Energoaudit. 2011, № 5, P. 70–78.
2. Matveevskiy V. R. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem [Reliability of technical systems]: uchebnoye posobie. Mosk. gos. in-t elektroniki i matematiki. Moscow, 2003, 113 p.
3. Sazonova S. A. Otsenka nadezhnosti raboty gidravlicheskikh sistem po pokazatelyam effektivnosti [Assessment of the reliability of hydraulic systems by performance indicators]. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016, № 1, P. 37–39.
4. Sazonova S. A. Razrabotka metodov i algoritmov tekhnicheskoy diagnostiki sistem gazosnabzheniya [Development of methods and algorithms for technical diagnostics of gas supply systems]: spetsialnost 05.23.03: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk; VGTU, Voronezh, 2000, 15 p.
5. Sazonova S. A. Upravlenie gidravlicheskimi sistemami pri rezervirovanii i obespechenii trebuemogo urovnya nadezhnosti [Management of hydraulic systems during redundancy and ensuring the required level of reliability]. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016, № 1, P. 43–45.
6. Karasevich A. M., Sukharev M. G. Sostoyanie i problemy nadezhnosti edinoi i regionalnykh sistem gazosnabzheniya [The state and problems of reliability of unified and regional gas supply systems]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk, energetika. 2009, № 5, P. 34–40.
7. Karasevich A. M., Sukharev M. G. Modeli nadezhnosti gazosnabzhayushchikh sistem [Models of reliability of gas supply systems]. Avtomatika i telemekhanika. 2010, № 7, P. 149–159.
8. Sukharev V. M. Problemy nadezhnosti sistem raspredeleniya gaza [Problems of reliability of gas distribution systems]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk, energetika. 2009, № 5, P. 24–33.



9. Dzhaferov T. V. O povyshenii nadezhnosti sistem gazosnabzheniya [On improving the reliability of gas supply systems]. Elektronny nauchny zhurnal neftegazovoe delo. 2009, № 1, 34 p. URL: https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov_1.pdf.

10. Dzhaferov T. V. O povyshenii effektivnosti funktsionirovaniya gazoprovodov na osnove diagnostiki sostoyaniya ikh vnutrenney poverkhnosti pri statsionarnom rezhime [On improving the efficiency of gas pipelines based on diagnostics of the condition of their internal surface in stationary mode]. Elektronny nauchny zhurnal neftegazovoe delo. 2009, № 1, 34 p. URL: https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov_2.pdf.

11. Golovach Yu. A., Zakharov V. I. Raschet nadezhnosti tupikovoy gazovoy seti [Calculating the reliability of a dead-end gas network]. Vestnik Donbasskoy natsionalnoy akademii stroitelstva i arkhitektury. 2014, № 3, P. 13–19.

12. Thepmanee T., Nachasingha C., Kummool S. Reliability enhancement of LNG fuel gas supply system in combined-cycle power plant. Energy Reports. 2020. № 6. P. 929–933.

13. Khudoykulov U. Ch. Reliability of gas supply system and quality indicators and ways to increase them. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2021. Vol. 8. Issue 2. P. 16735–16739.

© И. А. Коротенко, Д. Ю. Суслов, Р. С. Рамазанов, 2025

Получено: 19.02.2025 г.