



Контроль параметров электрохимической защиты от коррозии систем газораспределения с применением технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия

Р.Р. Усманов¹, М.В. Чучкалов¹, Д.Н. Запевалов², Д.Е. Мансуров², Р.Р. Хабибуллин²

¹ ООО «Газпром трансгаз Казань», г. Казань, Российская Федерация

² ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Московская область, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Организация работ по контролю эффективности систем противокоррозионной защиты сопряжена с определенными проблемами, связанными со сложностью осуществления электрического контакта измерительной аппаратуры с грунтом, высокой трудоемкостью проведения замеров в городских условиях, а также необходимостью последующей камеральной обработки данных и высокой вероятностью появления некорректных значений из-за влияния «человеческого фактора». В статье рассмотрены аспекты разработки системы контроля параметров защиты от коррозии сетей газоснабжения с использованием беспроводной передачи данных малого радиуса действия. Актуальность исследования обусловлена необходимостью формирования надежной и экономичной системы сбора и обработки информации о состоянии объектов защиты от коррозии систем газораспределения на основе современных цифровых технологий. Цель исследования: совершенствование технических и технологических решений для создания автоматизированной системы сбора и обработки информации о техническом состоянии сетей газораспределения ООО «Газпром трансгаз Казань», в части защиты от коррозии. Основные задачи исследования: определение первоочередных производственных объектов электрохимической защиты для внедрения технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия; анализ технических характеристик и видов объектов внедрения с целью определения условий будущей работы устройств беспроводной передачи данных малого радиуса действия и их компоновки; разработка требований к опытному образцу оборудования.

Результаты. Выполнены исследования возможности и условий применения технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия для систем электрохимической защиты сетей газораспределения, определены состав и основные функциональные параметры элементов.

Выводы. Сформированы требования к прототипу оборудования для контроля параметров электрохимической защиты систем газораспределения с применением технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия, определены первоочередные объекты внедрения. Полученные технические решения позволят построить корректные цифровые модели распределения защитных потенциалов по протяженности газопроводов в зависимости от параметров установок электрохимической защиты и решать, таким образом, задачи оптимизации работы оборудования без внедрения дорогостоящих систем телеметрии, сокращая тем самым эксплуатационные затраты.

Ключевые слова: газораспределение, электрохимическая защита, контроль, система сбора и обработки информации, оптимизация, беспроводная передача данных, энергетическая эффективность.

Для цитирования: Усманов Р.Р., Чучкалов М.В., Запевалов Д.Н., Мансуров Д.Е., Хабибуллин Р.Р. Контроль параметров электрохимической защиты от коррозии систем газораспределения с применением технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия // Известия КГАСУ, 2022, №4(62), с.81-95, DOI: 10.52409/20731523_2022_4_81, EDN: KGQALA

Control of parameters of electrochemical protection of gas distribution systems against corrosion using wireless data transmission technology of short range

R.R. Usmanov¹, M.V. Chuchkalov¹, D.N. Zapevalov², D.E. Mansurov², R.R. Habibulin²

¹«Gazprom Transgaz Kazan» LLC, Kazan, Russian Federation

²«Gazprom VNIIGAZ» LLC, Moscow Region, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* The organization of work to control the effectiveness of anti-corrosion protection systems involves certain problems related to complexity of making electrical contact between the measuring equipment and the ground, the high laboriousness of measurements in urban environments, also the need for subsequent office data processing and a high probability of incorrect values due to the influence of «human factor». The article considers aspects of the development of a system for monitoring corrosion protection parameters of gas supply networks using short-range wireless data transmission. The relevance of the study is due to the need to form a reliable and economical system for collecting and processing information about the state of protection objects from the protection of gas distribution systems based on modern digital technologies.

The purpose of the study: Development of technical and technological solutions for the creation of an automated system for collecting and processing information on the technical condition of the gas distribution networks of «Gazprom Transgaz Kazan» LLC in terms of corrosion protection. The main research objectives: determination of priority production facilities for electrochemical protection for the implementation of short-range wireless data transmission technology; analysis of technical characteristics and types of implementation objects in order to determine the conditions for future operation of short-range wireless data transmission devices and their layout; development of requirements for a prototype equipment.

Results. A study of the possibilities and conditions for the use of short-range wireless data transmission technology (NFC) for electrochemical protection systems of gas distribution networks of «Gazprom Transgaz Kazan» LLC has been carried out, the composition and main functional parameters of the elements have been determined.

Conclusions. The requirements for the prototype of equipment for monitoring the parameters of electrochemical protection of gas distribution systems of «Gazprom Transgaz Kazan» LLC with the use of wireless data transmission technology of short range have been formed, the priority objects of implementation have been identified.

The obtained technical solutions will make it possible to build correct digital models of the distribution of protective potentials along the length of gas pipelines, depending on the parameters of electrochemical protection installations, and thus solve the problems of optimizing the operation of equipment without the introduction of expensive telemetry systems, thereby reducing operating costs.

Key words: gas distribution, electrochemical protection, control, information collection and processing system, optimization, wireless data transmission, energy efficiency.

For citation: Usmanov R.R., Chuchkalov M.V., Zapevalov D.N., Mansurov D.E., Habibulin R.R. Control of parameters of electrochemical protection of gas distribution systems against corrosion using wireless data transmission technology of short range // News KSUAE, 2022, №4(62), p.81-95, DOI: 10.52409/20731523_2022_4_81, EDN: KGQALA

1. Введение

В эксплуатации ООО «Газпром трансгаз Казань» (далее – Общество) находится 43747 км сетей газоснабжения, в том числе:

- высокого давления – 12043 км;
- среднего давления – 3676 км;
- низкого давления – 28028 км.

Протяженность подземных стальных газопроводов в их составе, требующих применения активной электрохимической защиты (далее – ЭХЗ), составляет 11987 км. Сети газоснабжения имеют сложно разветвленный характер, поэтому системы противокоррозионной защиты этих объектов характеризуются, как правило, значительным количеством энергопотребляющего оборудования, которое размещено на обширной территории обслуживания.

Для контроля уровня защищенности от коррозии подземных стальных газопроводов Общества при регулярных проверках эффективности систем ЭХЗ, в соответствии с нормативными требованиями¹, проводятся измерения защитного потенциала на 23 325 точках измерения [1].

Затраты на эксплуатацию систем ЭХЗ обусловлены потребленной электрической энергией и необходимостью проведения регулярного технического обслуживания и контроля рабочих параметров оборудования.

Кроме того, по опыту длительной эксплуатации объектов газораспределения Общества было установлено, что системы ЭХЗ городских газовых сетей, в ряде случаев, обладают некоторой избыточностью, имеют не оптимальную конфигурацию и не эффективные режимы работы. Это связано с изначально заложенным в проект системы ЭХЗ существенным запасом мощности на старение изоляции, кольцевой (дублирующей) структурой сетей газопроводов и тенденцией частичной замены стальных труб на полиэтиленовые.

Указанные факторы побуждают искать способы оптимизации систем ЭХЗ с целью получения экономии затрат на электроэнергию, техобслуживание и ремонт.

В данном случае реализация оптимизационных алгоритмов требует наличия корректной цифровой модели распределения защитных потенциалов по протяженности защищаемых коммуникаций, что невозможно при существующей системе «ручной» регистрации параметров работы оборудования [1-3].

Кроме того, исходные данные о параметрах ЭХЗ являются составной частью информации для предварительного качественного анализа опасностей, выявления опасных ситуаций, прогнозирования их последствий, и расчета значений промышленного и экологического рисков [4, 5], что определяет дополнительные требования к достоверности получаемой информации.

Известные в настоящее время методы оптимизации сложных систем ЭХЗ, как правило, подразумевают наличие дорогостоящего оборудования коррозионного мониторинга, позволяющего оперативно изменять выходные параметры установок, получать сведения об изменении потенциалов на объектах защиты и в автоматическом режиме, используя математическое моделирование процессов, корректировать настройки системы.

Вышеперечисленные факторы обуславливают актуальность формирования надежной и экономичной системы сбора и обработки информации о состоянии объектов защиты от коррозии систем газораспределения Общества на основе современных цифровых технологий, обеспечивающей простоту и оперативность получения данных, и минимизацию ошибок пользователей.

В этой связи наиболее перспективным представляется совершенствование существующего метода «ручной» регистрации параметров оборудования ЭХЗ.

В смежных областях промышленности известен ряд устройств для сбора данных о параметрах технологического оборудования с помощью технологии связи малого радиуса

¹РД 153–39.4–091–01. «Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200030108> (дата обращения: 14.11.2022).

действия [6-10]. Также показана принципиальная возможность применения упомянутой технологии при создании автоматизированных систем управления объектами [11], в том числе – с высокоэффективной беспроводной передачей энергии и данных по одному каналу [12]. Учитывая изложенную проблематику и современные технические возможности, в рамках проведенного исследования была поставлена цель по совершенствованию технических и технологических решений для создания автоматизированной системы сбора и обработки информации о состоянии сетей газораспределения Общества в части защиты от коррозии с учетом технико-экономического баланса. Основные задачи по разработке элементов инфраструктуры системы контроля параметров защиты от коррозии сетей газоснабжения с использованием беспроводной передачи данных малого радиуса действия:

- определение первоочередных производственных объектов ЭХЗ для внедрения указанной технологии;
- анализ технических характеристик и видов объектов внедрения с целью определения условий будущей работы устройств беспроводной передачи данных малого радиуса действия и их компоновки;
- разработка требований к опытному образцу оборудования.

2. Материалы и методы

Регулярные измерения параметров систем противокоррозионной защиты Общества, для которых целесообразно проведение цифровой трансформации информационных потоков, имеют ряд особенностей.

Системы ЭХЗ городских газовых сетей оснащены устройствами телеконтроля только на 0,8% от общего числа установок, поэтому основная часть работ по контролю параметров ЭХЗ проводится вручную, что достаточно трудоемко и сопряжено с определенными проблемами, существенно влияющими на достоверность получаемых данных (рис.1):

- ненадежность организации электрического контакта с грунтом при проведении электрометрических измерений (проблемные участки отмечены на рис. 1 окружностью красного цвета);
- высокая трудоемкость проведения электрометрических работ в городских условиях и необходимость последующей камеральной обработки данных;
- вероятность проведения недостаточно полных и достоверных замеров защитного потенциала из-за влияния «человеческого фактора»;
- вероятность ошибки при определении опасного влияния блуждающих токов из-за высокой дискретности «ручного» съема данных;
- необходимость инженерного оборудования точек измерения защитного потенциала в условиях городской застройки (защита от вандализма и повреждений, обеспечение защиты от погодных воздействий, обеспечение требований маркировки и дизайна).



Рис.1. Проведение плановых измерений на объектах сетей газораспределения
ООО «Газпром трансгаз Казань» (иллюстрация авторов)

Fig.1. Taking planned measurements at gas distribution network facilities
of «Gazprom transgaz Kazan» LLC (illustration by the authors)

Помимо проведения рутинных процедур по регулярной регистрации параметров оборудования, перед службами Общества ставится также задача оптимизации систем ЭХЗ с целью получения экономии эксплуатационных затрат.

Так, исследованиями специалистов Общества установлено, что значительная часть установок катодной защиты (УКЗ) работает не эффективно (с невысокой загрузкой по мощности и, соответственно, низким КПД) [1]. Кроме того, на некоторых группах объектов, оборудование защиты от коррозии с низкой энергетической эффективностью расположено неравномерно, и можно выделить отдельные зоны с его повышенной концентрацией (рис.2).

Оптимальным выходом из ситуации для упомянутых зон является отключение в резерв некоторой части неэффективных установок и увеличение загрузки (а значит и повышение КПД) другой части остающегося в работе оборудования.

Значительное количество обслуживаемых установок катодной защиты затрудняет проведение полноценного комплексного анализа их состояния силами служб эксплуатации. Для решения этой проблемы специалистами Общества разработан комплекс методических и инженерных решений² [2, 4,]. В соответствии с ними, на местности с помощью геоинформационных технологий фиксируют зоны с повышенной плотностью скопления установок катодной защиты, обладающих низкими значениями выходного тока. Часть из них выводят в резерв, компенсируя отключение повышением мощности оставшегося в работе оборудования из этой же зоны. Указанная методика реализована в алгоритмах программного обеспечения геоинформационной системы. Всего, на первом этапе внедрения разработанной технологии, отключено в резерв 567 установок катодной защиты, что составляет 12,1 % от общего числа установок, находящихся в эксплуатации Общества. При этом одним из важнейших вопросов практической реализации задачи оптимизации является получение достоверной информации о параметрах системы защиты от коррозии объектов.

²СТО Газпром трансгаз Казань 217-02.1.5-3–2021. Порядок вывода в резерв установок катодной защиты ООО «Газпром трансгаз Казань».[Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.

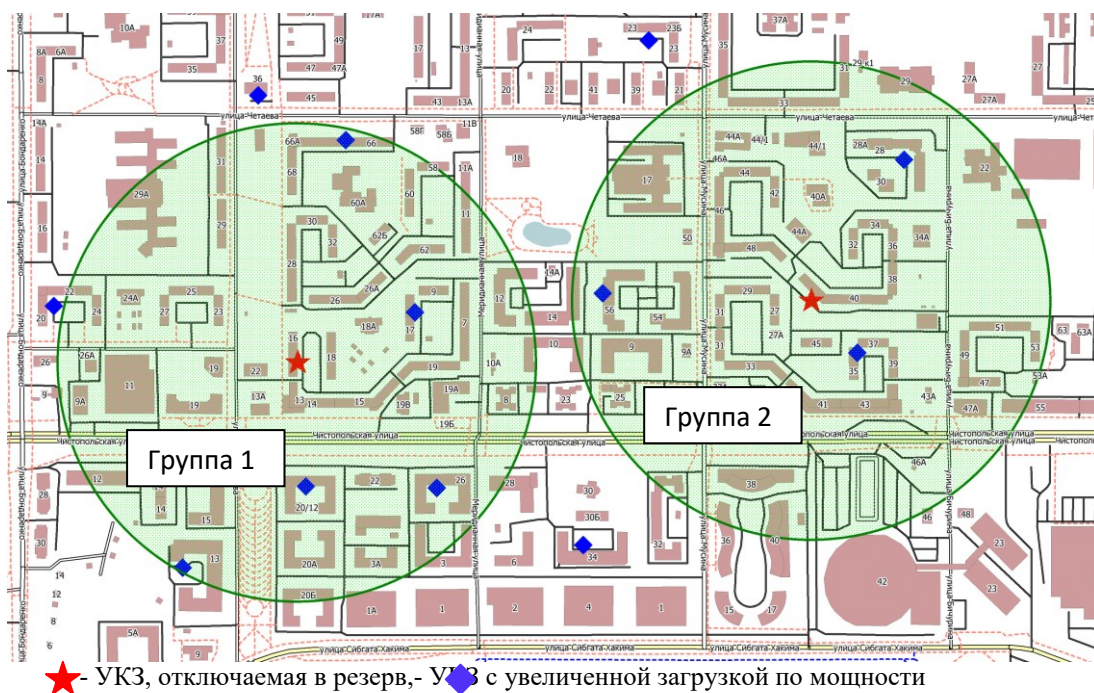


Рис. 2. Пример локализации зон низкой энергоэффективности [2]
 Fig. 2. An example of localization of zones of low energy efficiency [2]

Таким образом, с учетом всех вышеперечисленных факторов, существует насущная необходимость цифровой трансформации существующих процедур получения информации о состоянии производственных объектов защиты от коррозии Общества.

В целях определения возможности подключения к имеющемуся оборудованию внешних цифровых устройств передачи информации, в процессе работы были проанализированы основные виды средств ЭХЗ, подлежащие оснащению средствами контроля параметров. Здесь можно выделить 2 основных типа оборудования: станции электрохимической защиты (катодной и дренажной) и устройства для измерения защитных потенциалов на подземных газопроводах.

Станции катодной защиты (СКЗ) и дренажной защиты (СДЗ) выполнены, как правило, в стальном корпусе, расположенном на постаменте, и подключение к ним каких-либо дополнительных устройств не является технической проблемой. В этом случае регистрируемыми параметрами являются ток и напряжение данной электроустановки, коммутация с внешним устройством может быть осуществлена к выходным клеммам дополнительной проводкой, а само устройство – смонтировано снаружи СКЗ или СДЗ.

Контрольно-измерительные пункты (КИП) представлены в Обществе в наземном и подземном исполнении. Подземные КИП (коверы) выполнены, как правило, из не радиопрозрачных материалов (сталь, чугун). Внутри КИП имеется клеммная площадка, куда выводятся контакты кабеля от подземного оборудования (газопровод, электрод сравнения, датчик скорости коррозии), регистрируемыми параметрами являются значения суммарного и поляризационного потенциала газопровода относительно земли, а также сопротивление датчика скорости коррозии. Подключение дополнительных цифровых устройств в подземном КИП сопряжено с определенными проблемами, обусловленными необходимостью дополнительной защиты электронной схемы от почвенной влаги и обеспечении проходимости радиосигнала. Подключение дополнительных устройств к наземным КИП сложности не представляет.

Специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ», с учетом условий эксплуатации и параметров объектов систем газораспределения Общества, на основе предварительно проведенного патентного поиска и оценки, предлагаемых российскими компаниями-производителями технических решений, было предложено рассмотреть применение технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия NFC.

NFC (Near Field Communication) – беспроводная технология обмена данными на частоте 13,56 МГц, является развитием стандартов бесконтактных карт ISO/IEC 14443³ и ISO/IEC 15693⁴, и обеспечивает с ними обратную совместимость. NFC-устройства, совместимые с ISO/IEC 14443, позволяют осуществлять обмен данными на расстоянии до 10 см со скоростью 106...848 кбит/с. NFC-устройства, совместимые с ISO/IEC 15693, позволяют осуществлять обмен данными на дистанции до 1 м со скоростью до 53 кбит/с. Оба упомянутых международных стандарта представлены и применяются в России в формате ГОСТ Р⁵.

Потенциальным достоинством для систем защиты от коррозии и коррозионного мониторинга сетей газораспределения в условиях плотной городской застройки (в том числе скрытного и вандало-защищенного исполнения) является помехозащищенность, быстрое и простое проведение подключения и передачи информации. Для сбора и регистрации данных не требуются специальные средства измерений, целесообразно использование смартфонов с функцией NFC. При интеграции цепей измерения и передачи информации в первичные устройства (установки электрохимической защиты, пункты контроля защитного потенциала) операция опроса данных будет сопоставима с проведением бесконтактного прохода через турникет по смарт-карте. Результаты измерений при этом не будут зависеть от опыта и квалификации оператора.

Применительно к задачам контроля параметров сложных технических систем рассмотрен ряд публикаций, использующих технологию NFC для контроля технических устройств объектов нефтегазового комплекса. На примере пяти из рассмотренных технических решений [6-10] можно отметить, что возможности технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия предлагается использовать для быстрого установления базовых паспортных данных (идентификации) оборудования и последующей активизации других каналов передачи данных (Bluetooth, Wi-Fi).

Вместе с тем, возможности NFC значительно шире, и данная технология позволяет реализовать задачи сбора и передачи оператору информации о техническом состоянии объекта контроля на носимое устройство (смартфон с технологией NFC)[11], а дальнейшая передача информации может быть реализована за счет штатных функций смартфона. Для реализации автономных датчиков, не имеющих внешнего энергоснабжения, вполне достаточно NFC-канала с небольшим радиусом действия. При этом датчик получает все преимущества беспроводного интерфейса, в том числе отсутствие контактных соединений и мобильность. Кроме того, в этом случае можно полностью герметизировать датчики. Дополнительным плюсом NFC становится простота разработки и низкая стоимость реализации таких устройств.

Технология потенциально позволяет реализовать передачу информации и одновременную бесконтактную (беспроводную) передачу энергии первичным устройствам (реализация функций бесконтактной зарядки и энергообеспечения первичных устройств при проведении измерений с мощностями от единиц до десятков Вт) [12]. Потенциально может быть реализована передача энергии и одновременная трансляция данных со скоростью 106 кбит/с на расстоянии между инициатором и целью до 3 см, и до 848 кбит/с – на расстоянии до 4 мм.

³ ISO/IEC 14443 Identification cards. Contactless integrated circuit cards. Proximitycards. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200108020> (дата обращения: 14.11.2022).

⁴ ISO/IEC 15693 Identification cards. Contactless integrated circuit cards. Vicinitycards. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/551287124> (дата обращения: 14.11.2022).

⁵ ГОСТ Р ИСО/МЭК 18092-2015. Информационные технологии (ИТ). Телекоммуникации и обмен информацией между системами. Коммуникация в ближнем поле. Интерфейс и протокол (NFCIP-1). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200123920> (дата обращения: 14.11.2022).

Максимальный КПД такой системы (η) с точки зрения передачи энергии может быть определен по формуле[12]:

$$\eta = \frac{k^2 Q^2}{1 + \sqrt{1 + k^2 Q^2}} \approx 1 - \frac{2}{kQ} \quad (1)$$

где Q – совокупный коэффициент добротности системы двух отдельных взаимодействующих катушек NFC-пары на стороне передатчика и приемника;

k – коэффициент связи катушек (в диапазоне от 0,33 до 0,52 в зависимости от конструкции катушек).

Приведенная формула может быть применена в расчетах при подборе реальных параметров взаимодействующих NFC устройств (размеры и конструкция антенны[13], материал и толщина стенки корпуса NFC-датчика, предельная скорость передачи данных и т.п.). Упомянутые расчеты могут потребоваться для модификации конструкции изготовленного прототипа и разработки технических условий на изготовление серийного образца изделия.

Приведенный компанией Würth Elektronik [12] расчет резонансных контуров и результаты тестирования комбинированной системы беспроводной передачи данных и энергии подтверждают значения КПД передачи энергии от 87% до 94 %.

Примером рационального использования технологии NFC является беспроводной NFC-датчик параметров окружающей среды STEVAL-SMARTAG1 [14]. Устройство позволяет автономно контролировать ряд внешних условий с помощью интегрированных в состав комплекта первичных датчиков (барометр, термометр, датчик влажности, анемометр). Благодаря наличию в устройстве функции Energy Harvesting, питание датчика может осуществляться не только от батарейки (типа CR2032), но и от энергии электромагнитного поля, создаваемого смартфоном.

Другими функциональными достоинствами рассмотренного решения [14], которое может быть применено и для первичных устройств системы ЭХЗ объектов газораспределения, являются:

- значительный радиус действия, который упрощает считывание данных. Связь со смартфоном возможна на расстоянии до 7 см, а при использовании устройств с дополнительной антенной – до 1 м;
- высокоскоростной интерфейс с частотой до 1 Мбит/с, что позволяет уменьшить длительность фазы активности и тем самым снизить энергопотребление;
- функция быстрого обмена данными (Fast Transfer mode) между контроллером и внешним NFC-устройством;
- функция сбора энергии Energy Harvesting, которая позволяет аккумулировать энергию внешнего электромагнитного поля, создаваемого смартфоном, и использовать ее как для собственного питания, так и для питания других микросхем (до 3 В, 5 мА);
- возможность реализации полностью герметичных «вечных» датчиков благодаря функции Energy Harvesting.

Кроме того, компанией-разработчиком предложены практические способы дополнительной экономии энергии:

- снижение потребления за счет уменьшения рабочей частоты микроконтроллера;
- перевод микроконтроллера между измерениями в режим пониженного энергопотребления. Для пробуждения из спящих режимов может использоваться встроенный модуль часов реального времени или пробуждение по прерыванию от любого из портов ввода-вывода;
- ограничение частоты измерений первичных датчиков.

Для рассмотренного выше устройства, по данным компании-производителя, среднее энергопотребление в активной фазе составляет около 420 мкА при длительности фазы порядка 360 мс; среднее энергопотребление в режиме ожидания – менее 2,8 мкА; пиковые значения тока – до 30...35 мА, импульсы имеют длительность менее 0,1 мс. С учетом указанных параметров измерения, питание устройства может осуществляться не только от батарейки CR2032, но и от энергии электромагнитного поля, создаваемого смартфоном.

3. Результаты и обсуждение

Исходя из проведенного анализа задач и условий функционирования систем защиты от коррозии сетей газораспределения [1], дополнительных ограничений при их оптимизации⁶, определены требования к опытному образцу оборудования для контроля параметров системы защиты от коррозии с использованием беспроводной передачи данных малого радиуса действия (NFC).

Разрабатываемое устройство должно обеспечивать реализацию следующих основных функций:

- наличие надежного постоянного контакта измерительных цепей первичного устройства с выходными клеммами установок ЭХЗ или подземной инфраструктурой сети газоснабжения (газопровод, электрод сравнения, датчик скорости коррозии);
- беспроводная передача данных о параметрах оборудования ЭХЗ или защищаемых от коррозии коммуникацийс первичного устройства на смартфон;
- работа первичного устройства, преимущественно, без дополнительного источника питания.

Для обеспечения функционирования датчиков NFC на линейной части газопровода разработано техническое решение о замене существующих стальных и чугунных коверов на пластиковые или полимер-песчаные с доработкой крышки под установку NFC устройства.

В целях унификации подхода к монтажу разрабатываемых устройств беспроводной передачи данных от СКЗ или СДЗ, учитывая значительный парк существующих станций различных производителей и годов выпуска, разработан внешний корпус для крепления изделия на наружной стенке установки «малоинвазивным» методом.

Одной из российских компаний-разработчиков электронного оборудования, по запросу ООО «Газпром ВНИИГАЗ», была технически подтверждена и продемонстрирована возможность реализации электронной части устройства для контроля защитного потенциала подземных сооружений с применением технологии NFC, на основе которой может быть реализована система беспроводного сбора данных о параметрах защиты от коррозии объектов газораспределения. Функциональные возможности единичного комплекта оборудования в части измерения параметров защиты от коррозии должны обеспечивать контроль следующих величин:

- потенциал сооружения (± 100 В) с дискретностью измерения 0,01 В;
- скорость коррозии (контроль сопротивления образцов-свидетелей);
- ток устройства или сооружения (измерение падения напряжения на шунте 75 мВ).

Конструктивное решение должно соответствовать условиям плотной городской застройки:

- скрытное или вандало-защищенное исполнение для стационарных точек контроля без проведения реконструкции объектов;
- совместимость с первичными устройствами контроля для измерения параметров оборудования систем защиты от коррозии.

Единичный комплект оборудования для контроля параметров защиты от коррозии должен состоять из двух основных устройств:

- терминальное оборудование ближнего действия PCD (активное устройство – инициатор и считыватель данных);
- объект ближнего действия PICS (пассивное целевое NFCустройство, напрямую подключенное к датчикам контроля параметров и обладающее возможностью использования дополнительного источника питания).

Техническое решение терминального оборудования ближнего действия PCD для контроля параметров систем защиты от коррозии газораспределительных сетей с использованием беспроводной передачи данных малого радиуса действия должно соответствовать всем обязательным требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 14443-2-2014.

⁶СТО Газпром трансгаз Казань 217-02.1.5-3–2021. Порядок вывода в резерв установок катодной защиты ООО «Газпром трансгаз Казань».

Дальнейшую передачу полученной информации по каналам связи для последующей обработки целесообразно реализовать с промежуточным сохранением в памяти используемого в качестве терминала смартфона (рис. 3).

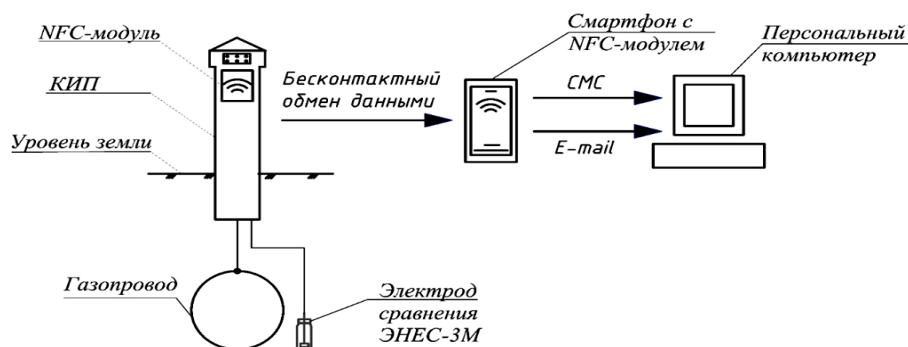


Рис. 3. Схема беспроводного контроля параметров защиты от коррозии на контрольно-измерительном пункте с использованием технологии NFC (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Scheme of non-contact control of corrosion protection parameters at the checkpoint using NFC technology (illustration by the authors)

Как указано выше, в составе систем защиты от коррозии объектов газораспределения Общества выделены три основных вида оборудования, параметры которого подлежат контролю: СКЗ, СДЗ и КИП. Имеются некоторые различия в коммутации датчиков (к выходным клеммам электроустановки или клеммной площадке КИП) и типах измеряемых параметров в зависимости от вида оборудования ЭХЗ. Однако, для обеспечения взаимозаменяемости и универсальности технических решений, каждое пассивное целевое NFC устройство должно обеспечивать возможность реализации всех измерительных функций, с ограничением незадействованных опций при установке на конкретные объекты.

При расчетах параметров цепей измерения защитного потенциала газопровода и оценке потребляемой датчиками электроэнергии следует учесть, что подключение к «земле» осуществляется не непосредственно, а через стационарный медно-сульфатный электрод сравнения длительного действия. Поскольку, в зависимости от производителя, возможны некоторые различия в характеристиках этих устройств, принятыми к учету параметрами типового электрода сравнения являются следующие характеристики (табл.).

Таблица

Параметры электрода сравнения длительного действия

№ п/п	Наименование характеристики	Значение характеристики
1	Собственный потенциал электрода в водопроводной воде по отношению к образцовому хлорсеребряному электроду, мВ	100±20
2	Собственный потенциал электрода в 3% водном растворе NaCl по отношению к образцовому хлорсеребряному электроду, мВ	120±15
3	Переходное электрическое сопротивление, не более, Ом	1500
4	Длина проводников, м	5
5	Сечение проводников, не менее, мм ²	4

Для выбранных производственных объектов ЭХЗ, где планируется внедрение беспроводной измерительной технологии, работа первичных NFC датчиков, преимущественно, должна осуществляться без применения дополнительного источника питания. В настоящее время ведется разработка прототипа устройства с последующим испытанием его в различных условиях (будут варьироваться материал и толщина стенки корпуса над антенной, определяться необходимость подключения внешних измерительных преобразователей тока и напряжения и т.п.). По результатам испытаний будет принято решение о необходимости в подключении дополнительного источника внешнего или автономного питания, а также определены возможные механизмы бесконтактной зарядки.

На основе имеющегося массива данных о рабочих параметрах оборудования ЭХЗ и уровне защиты от коррозии газопроводов 4, а также по результатам проведенного в 2021-2022 гг. анализа технического состояния объектов электрохимической защиты Общества [1] определены приоритетные (первоочередные) объекты применения системы сбора и обработки информации с использованием технологии NFC в течение 2023-2024 гг.

Текущими актуальными вопросами являются изготовление и проверка партии опытных образцов оборудования на реальных объектах, а также разработка программного обеспечения для организации передачи и хранения данных о контролируемых параметрах систем ЭХЗ.

Рассматриваются варианты создания собственного программного обеспечения для терминала смартфона.

Установленное на смартфон программное обеспечение при беспроводном взаимодействии с контролируемым оборудованием должно автоматически [15, 16] получать паспортную информацию об объекте и отображать соответствующую экранную форму.

Возможные варианты экранных форм представления информации при проведении контрольных операций на мобильном устройстве, в зависимости от типа контролируемого оборудования, представлены на рис. 4.

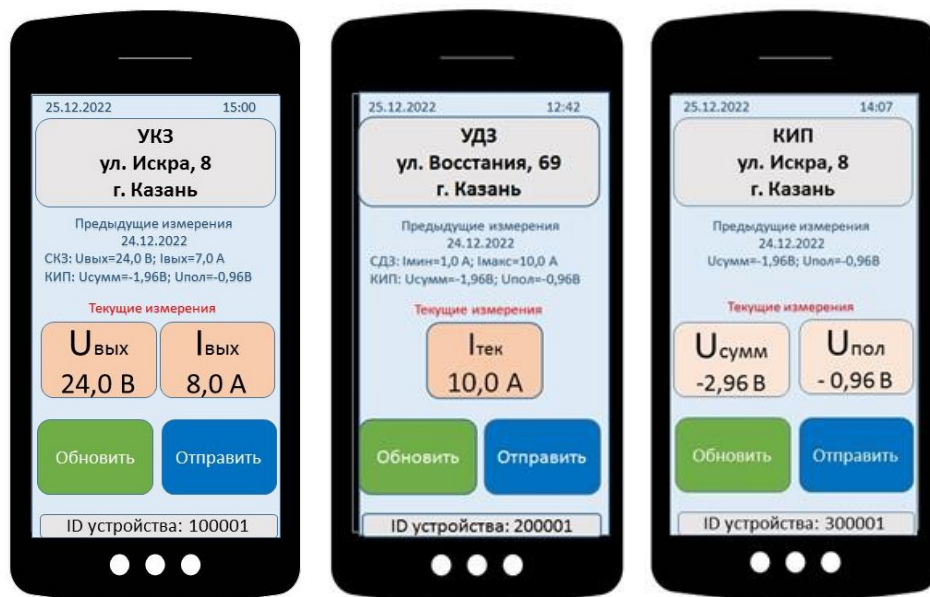


Рис.4. Варианты экранных форм представления данных (иллюстрация авторов)
Fig. 4. Options for screen forms of data presentation (illustration by the authors)

Выбор режима отображения осуществляется автоматически (СКЗ, СДЗ, КИП) при установлении связи мобильного устройства и объекта контроля.

Для оператора, производящего измерения параметров установки, предусматривается режим обновления данных (повтор измерений) в случае возникновения сомнений в корректности полученных значений.

При выборе функции «Отправить» формируется SMS-сообщение (либо e-mail) с информацией по измеренным параметрам оборудования и осуществляется отправка его на модем, подключенный к стационарному компьютеру службы противокоррозионной защиты. Предусмотрены варианты отправки сообщений в автоматическом и ручном режимах (на случай отсутствия покрытия мобильной связи в районе проведения измерений).

Выбор формата передачи информации от смартфона (SMS либо e-mail) в настоящее время не утвержден – ведется работа по согласованию требований информационной безопасности и определению необходимости криптографической защиты передаваемых данных.

На компьютере SMS (либо e-mail) расшифровывается и информация заносится в специальную форму электронной таблицы (например, в формате Microsoft Excel).

При разработке программного обеспечения минимальная скорость обмена информацией предварительно принята от 106 кбит/с. Ожидаемый размер сообщения с передаваемыми параметрами оборудования ЭХЗ составляет порядка 210 бит, поэтому указанная величина скорости обмена более чем достаточна.

Расстояние между считывающим оборудованием (смартфоном) и антенной первичного NFC устройства, для надежной передачи данных и проведения измерений, (с учетом конструктивных особенностей первичных устройств и их планируемого расположения в радиопрозрачном полимерном корпусе) принято до 5 мм.

Низкий уровень энергопотребления, в большинстве случаев, позволит реализовать функции измерения и передачи данных в смартфон без использования внутреннего элемента питания NFC датчика, и обеспечить его герметичное исполнение.

4. Заключение

В рамках создания автоматизированной системы сбора и обработки информации для контроля технического состояния противокоррозионной защиты сетей газораспределения Общества получены следующие основные результаты:

1. Проведен анализ ключевых параметров эксплуатации оборудования производственных объектов ЭХЗ, подлежащих автоматизированному сбору данных.
2. На основании имеющейся в Обществе методологии анализа энергоэффективности и оптимизации систем ЭХЗ определены первоочередные объекты для внедрения цифровой технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия.
3. Определены условия работы и варианты компоновки устройств беспроводной передачи данных на действующем оборудовании ЭХЗ в зависимости от внешних воздействий, возникающих в процессе эксплуатации.
4. Сформированы функциональные требования к прототипу оборудования:
 - по составу и предельным величинам параметров контроля для различных типов оборудования ЭХЗ;
 - по скорости и объему беспроводной передачи полученных данных измерений на смартфон оператора;
 - в части энергообеспечения устройства без внутренних источников энергии – за счет энергии смартфона в процессе измерения и обмена данными;
 - защита от внешних климатических /погодных/ техногенных воздействий.

Для организации передачи и хранения данных продолжаются работы по созданию программного обеспечения для терминала смартфона и стационарного компьютера.

На первом этапе (1-2 квартал 2023 г.) предусмотрены изготовление и испытания до 5 комплектов устройств с вариативностью элементов конструктивного исполнения и выбор универсального типового технического решения.

В течение 2024 г. предусмотрено серийное производство и монтаж разработанных устройств на реальных производственных объектах Общества.

Список литературы / References

1. Усманов Р. Р., Чучкалов М. В., Мансуров Д. Е., Аскарлов Р. М. Оптимизация систем электрохимической защиты за счет уменьшения количества работающего оборудования // Газовая промышленность. 2022. № 2. С. 74-84. EDN: TCHKS. [Usmanov R. R., Chuchkalov M. V., Mansurov D. E., Askarov R. M. Optimization of electrochemical protection systems by reducing the number of operating equipment // Gas industry. 2022. No. 2. P. 74-84. EDN: TCHKS].
2. Способ катодной защиты разветвленных подземных трубопроводов: пат. 2765677 Рос. Федерация. № 2021114656/05; заявл. 24.05.2021; опубл. 01.02.2022, Бюл. № 4, 4 с. [Method of cathodic protection of branched underground pipelines: patent 2765677 of the Rus. Federation. No. 2021114656/05; decl. 24.05.2021; publ. 01.02.2022. Bull. in No. 4. 4 p.].
3. Барышева О.Б., Осипова Л.Э. Применение IT-технологий в газовой отрасли // Современное строительство и архитектура. 2022. № 1. С. 60-65. DOI: 10.18454/mca.2022.25.10. EDN: AWHKAR. [Barysheva O.B., Osipova L.E. Application of IT-technologies in the gas industry // Modern construction and architecture. 2022.No 1. P. 60-65. DOI: 10.18454/mca.2022.25.10. EDN: AWHKAR.].
4. Мешалкин В. П., Бутусов О. Б., Кантюков Р. Р., Панарин В. М. Система поддержки принятия решений по управлению рисками опасных ситуаций в сложных системах газоснабжения // Программные продукты и системы. 2020. № 2. С. 250-256. EDN: XOVQJX. [Meshalkin V. P., Butusov O. B., Kanyukov R. R., Panarin V. M. Decision support system for risk management of hazardous situations in complex gas supply systems // Software products and systems. 2020. No. 2. P. 250-256. EDN: XOVQJX].
5. Автоматизированное рабочее место инженера службы подземных газопроводов (АРМ СПГ). Кантюков Р. Р., Тахавиев М. С., Зиганшин А. М., Каргина С. И., Кириллин В. А., Софронов В. В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015661773, 09.11.2015. Заявка № 2015617365 от 10.08.2015. [Automated workplace of an engineer of underground gas pipelines service (AWS LNG). Kanyukov R. R., Takhaviev M. S., Ziganshin A. M., Kargina S. I., Kirillin V. A., Sofronov V. V. Certificate of registration of the computer program RU 2015661773, 09.11.2015. Application No. 2015617365 dated 10.08.2015].
6. Устройство и система контроля параметров состояния оборудования: пат. 2608790 Рос. Федерация. № 2015138683/09; заявл. 11.09.2015; опубл. 24.01.2017, Бюл. № 3, 3 с. [Organisation and system for monitoring equipment condition: patent 2608790 of the Rus. Federation. No.2015138683/09; decl. 11.09.2015; publ. 24.01.2017. Bull. in No. 3. 3 p.].
7. Устройство для динамометрирования: пат. 183189 Рос. Федерация. № 2017113059/04; заявл. 14.04.2017; опубл. 13.09.2018, Бюл. № 26, 6 с. [Dynamometer device: patent 183189 of the Rus. Federation. No. 2017113059/04; decl. 14.04.2017; publ. 13.09.2018. Bull. in No. 26. 6 p.].
8. Электрический прибор, система, содержащая такой электрический прибор, и способ, осуществляемый в такой системе: пат. 2702222 Рос. Федерация. № 2017131725/02; заявл. 12.02.2019; опубл. 07.10.2019, Бюл. № 28, 6 с. [Electrical device, a system containing such an electrical device, and a method carried out in such a system: patent 2702222 of the Rus. Federation. No. 2017131725/02; decl. 12.03.2019; publ. 07.10.2019. Bull. in No. 28. 6 p.].
9. Модуль данных компонента, содержащий встроенный интерфейс связи ближнего действия: пат. 2621934 Рос. Федерация. № 2014132039/01; заявл. 22.01.2013; опубл. 08.06.2017, Бюл. № 16, 4 с. [Component data module containing built-in short range communication interface: patent 2621934 of the Rus. Federation. No. 2014132039/01; decl. 22.01.2013; publ. 08.06.2017. Bull. in No. 16. 4 p.].
10. Датчик уровня: пат. 193245 Рос. Федерация. № 2019106194/03; заявл. 04.03.2019; опубл. 21.10.2019, Бюл. № 30, 6 с. [Level sensor: patent 193245 of the Rus. Federation. No. 2019106194/03; decl. 04.03.2019; publ. 21.10.2019. Bull. in No. 30. 6 p.].
11. Ахметов И.А. Системы управления автоматизированными объектами нефтегазодобывающей промышленности с помощью технологии связи малого радиуса действия // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных

- ископаемых. 2014. № 1. С. 539-542. EDN: SVSGVZ. [Akhmetov I. A. Control systems for automated objects of the oil and gas industry using short-range communication technology // Problems of development of deposits of hydrocarbon and ore minerals. 2014. No.1. P. 539-542. EDN: SVSGVZ].
12. Унтеррайтмайер А. Решение компании WürthElektronik для высокоэффективной беспроводной передачи энергии и данных по одному каналу // Компоненты и технологии. 2019. № 3. [Unterreitmeier A. WürthElektronik's solution for highly efficient wireless transmission of energy and data over a single channel. Components and Technologies. 2019. No. 3].
13. Антенна NFC для применения в носимых устройствах: пат. 2708183 Рос. Федерация. № 2018131318/01; заявл. 23.01.2017; опубл. 04.12.2019, Бюл. № 34, 3 с. [NFC antenna for wearable applications: patent 2708183 of the Rus. Federation. No. 2018131318/01; decl. 23.01.2017; publ. 04.12.2019. Bull. in No. 34, 3 p.].
14. User manual. How to use the ST NFC Sensor TAG evaluation board. STMicroelectronics, 2018.
15. Беспроводной шлюз связи процесса с поддержкой NFC: пат. 2704253 Рос. Федерация. № 2018138198/03; заявл. 21.03.2017; опубл. 25.10.2019, Бюл. № 30, 3 с. [NFC-enabled wireless process communication gateway: patent 2704253 of the Rus. Federation. No. 2018138198/03; decl. 21.03.2017; publ. 25.10.2019. Bull. in No. 30, 3 p.].
16. Рабинович А. С., Казарин О. В. Методика аутентификации пользователя в информационной системе с использованием технологии NFC // Вопросы кибербезопасности. 2013. № 2. С. 59-62. [Rabinovich A. S., Kazarin O. V. Method of user authentication in an information system using NFC technology // Issues of cybersecurity. 2013. No. 2. P. 59-62].

Информация об авторах

Усманов Рустем Ринатович, генеральный директор, ООО «Газпром трансгаз Казань», кандидат технических наук, г. Казань, Российская Федерация

Email: rr-usmanov@tattg.gazprom.ru

Чучкалов Михаил Владимирович, главный инженер — первый заместитель генерального директора, ООО «Газпром трансгаз Казань», доктор технических наук, г. Казань, Российская Федерация

Email: mv-chuchkalov@tattg.gazprom.ru

Запевалов Дмитрий Николаевич, начальник Корпоративного научно-технического центра коррозионного мониторинга и защиты от коррозии, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», кандидат технических наук, Московская область, Российская Федерация

Email: d_zapevalov@vniigaz.gazprom.ru

Мансуров Дмитрий Евгеньевич, ведущий научный сотрудник Корпоративного научно-технического центра коррозионного мониторинга и защиты от коррозии, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», кандидат технических наук, г. Иннополис, Российская Федерация

Email: dmansurov@mail.ru

Хабибулин Рустам Рашидович, заместитель начальника Корпоративного научно-технического центра коррозионного мониторинга и защиты от коррозии, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Московская область, Российская Федерация

Email: R_Khabibulin@vniigaz.gazprom.ru

Information about the authors

Rustem R. Usmanov, General Director, «Gazprom Transgaz Kazan» LLC, Candidate of Technical Sciences, Kazan, Russian Federation

Email: rr-usmanov@tattg.gazprom.ru

Mikhail V. Chuchkalov, Chief Engineer — First Deputy General Director, «Gazprom Transgaz Kazan» LLC, Doctor of Technical Sciences, Kazan, Russian Federation

Email: mv-chuchkalov@tattg.gazprom.ru

Dmitry N. Zapevalov, Head of the Corporate Scientific and Technical Center for Corrosion Monitoring and Corrosion Protection, «Gazprom VNIIGAZ» LLC, Candidate of Technical Sciences, Moscow Region, Russian Federation

Email: d_zapevalov@vniigaz.gazprom.ru

Dmitry E. Mansurov, Leading Researcher at the Corporate Scientific and Technical Center for Corrosion Monitoring and Corrosion Protection, «Gazprom VNIIGAZ» LLC, Candidate of Technical Sciences, Innopolis, Russian Federation

Email: dmansurov@mail.ru

Rustam R. Khabibulin, Deputy Head of the Corporate Scientific and Technical Center for Corrosion Monitoring and Corrosion Protection, «Gazprom VNIIGAZ» LLC, Moscow Region, Russian Federation

Email: R_Khabibulin@vniigaz.gazprom.ru