

Научная статья

УДК 620.197.5:622.692.4.053

DOI 10.35266/1999-7604-2023-2-37-45

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

Юрий Борисович Попов^{1✉}, Гордей Петрович Давыдюк²,
Ксения Юрьевна Попова³, Алиса Андреевна Белагина⁴

^{1,2,3,4} Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

¹ iurii.b.popov@tusur.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0002-1627-2188>

² dgp@bs.tom.ru

³ dku81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0524-4780>

⁴ elisperova@mail.ru

Аннотация. В статье представлены технические решения по созданию системы беспроводного считывания параметров состояния катодной защиты магистральных газопроводов, направленные на повышение уровня автоматизации контроля параметров состояния их коррозионной защиты с учетом существующих методик и действующих регламентов обслуживания трубопроводов.

Ключевые слова: система катодной защиты, контрольно-измерительный пункт, мониторинг состояния, беспроводное оборудование, бесконтактный съем данных

Для цитирования: Попов Ю. Б., Давыдюк Г. П., Попова К. Ю., Белагина А. А. Контроль параметров состояния катодной защиты магистральных трубопроводов с использованием беспроводного доступа // Вестник кибернетики. 2023. Т. 22, № 2. С. 37–45. DOI 10.35266/1999-7604-2023-2-37-45.

Original article

WIRELESS MONITORING OF PARAMETERS OF CATHODE PROTECTION FOR GAS TRANSMISSION PIPELINES

Yuri B. Popov^{1✉}, Gordey P. Davydyuk², Kseniya Yu. Popova³, Alisa A. Belagina⁴

^{1,2,3,4} Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

¹ iurii.b.popov@tusur.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0002-1627-2188>

² dgp@bs.tom.ru

³ dku81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0524-4780>

⁴ elisperova@mail.ru

Abstract. The article presents engineering solutions for creating a wireless system for data sampling of cathode protection for gas transmission pipelines. These aim at advancing level of automated monitoring of parameters of corrosion protection using existing methods and regulations on pipelines maintenance in force.

Keywords: cathode protection system, control measuring station, state monitoring, wireless equipment, non-contact data sampling

For citation: Popov Yu. B., Davydyuk G. P., Popova K. Yu., Belagina A. A. Wireless monitoring of parameters of cathode protection for gas transmission pipelines. *Proceedings in Cybernetics*. 2023;22(2):37–45. DOI 10.35266/1999-7604-2023-2-37-45.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время магистральные трубопроводы являются наиболее удобным и распространенным средством транспортировки

углеводородов на большие расстояния. Традиционно в нефтяной и газовой отрасли для изготовления магистральных трубопроводов высокого давления используются

специальные высокопрочные сорта стали. При этом общим недостатком стальных труб является их подверженность коррозии и, как следствие, преждевременное разрушение магистралей, что грозит утечкой транспортируемого продукта и влечет за собой значительные экономические потери (прямые и косвенные). Для предупреждения разрушения трубопроводов применяются различные методы защиты [1, 2]. В частности, изделия покрываются изоляцией: битумом, эмалью либо специальной пленкой. Кроме этого, применяют различные методы электрохимической защиты [3–6]. В настоящее время широкое применение нашла методика на основе катодной защиты, которая реализуется путем создания на заданном участке трубопровода отрицательного электрического потенциала. Такой подход значительно снижает риски аварий на трубопроводах, однако для ее эффективного функционирования необходим непрерывный автоматический контроль определенных параметров [7–10]. Особенностью задач мониторинга в нефтегазовой отрасли является огромная территориальная распределенность транспортной сети трубопроводов. Подобный масштаб распределенных сетей существует лишь в электроэнергетике, где передача данных телеметрии о состоянии систем обычно привязана к существующей инфраструктуре связи, что позволяет использовать для передачи показаний в центр обработки (диспетчерский пункт) местные проводные и беспроводные сети (Internet, GSM и т. п.), а также технологические средства передачи данных непосредственно по линиям электропередач.

Очевидно, что в нефтегазовой отрасли процесс непрерывного автоматического контроля и сбора параметров состояния системы катодной защиты трубопровода [7] может быть реализован в районах, где для передачи данных существует один из вариантов системы связи:

- возможность подключения к волоконно-оптической линии связи (корпоративной или арендованной у внешнего оператора);
- наличие технологической радиорелейной линии связи для передачи данных вдоль трубопровода;

- покрытие беспроводной сетью мобильной связи внутрикорпоративной или внешнего провайдера;

- использования оборудования дорогостоящей спутниковой связи при обоснованной экономической целесообразности.

В противном случае, в труднодоступных местах прокладки трубопроводов (таежных, болотистых), где отсутствуют вышеперечисленные элементы инфраструктуры связи, решение задач мониторинга является проблематичным. При этом сбор данных о состоянии катодной защиты выполняется непосредственно инженерно-техническим персоналом, контактным методом периодически в соответствии с установленным регламентом.

На практике система состоит из множества станций катодной защиты (СКЗ) [9, 11]. Блоки с оборудованием СКЗ (БСКЗ-Э), располагаются вдоль магистрального трубопровода на расстоянии ~15 км друг от друга. СКЗ подключены к линиям электропередачи и с помощью встроенного источника постоянного напряжения создают защитный отрицательный потенциал на поверхности трубы. Более детально методика представлена в [5, 6].

Одновременно с оборудованием защиты в БСКЗ-Э размещено оборудование, обеспечивающее мониторинг и передачу данных телеметрии в центр обработки и контроля. Очевидно, что текущий контроль обеспечивается точно с линейным интервалом 15 км. Детализация распределения защитного потенциала от СКЗ вдоль трубопровода обеспечивается с помощью стоек контрольно-измерительных пунктов (КИП), которые устанавливают по трассе с интервалом 1,0 км.

Для измерений значений защитного потенциала [6–8] в стойках КИП предусмотрен щиток с клеммами, к которым подключают катодный вывод от магистрального трубопровода, а также кабели анодного электрода и электрических перемычек. Следует уточнить, что в составе КИП не предусмотрено штатное оборудование для передачи контрольных данных в центр обработки по каналам связи, поэтому контроль показателей системы катодной защиты осуществляется обслуживающим персоналом вручную контактным способом с использованием специали-

зированных измерительных приборов [3, 5, 11]. Измерения выполняются регулярно, в соответствии с регламентом обслуживания, независимо от сезона, текущих температурных и погодных условий. Для этого осуществляются плановые выезды персонала службы ЭХЗ вдоль трассы трубопровода на транспорте повышенной проходимости с остановками около каждого КИП для проведения измерений и контрольных записей. Очевидно, что процесс сбора данных является трудоемким, затратным, сопряженным с рисками для здоровья и жизни персонала, и требует модернизации способа измерений и обеспечения бесконтактного (беспроводного) сбора, а также передачи данных от КИП в центр обработки [12–16].

Патентный поиск и анализ первоисточников показал, что технического решения для поставленной задачи пока не существует, поэтому научные и технические исследования в этом направлении следует считать актуальными.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленной задачи предлагается использовать технический подход, обеспечивающий автоматизированные измерения параметров состояния катодной защиты при отсутствии общедоступных телекоммуникационных сетей [14–16]. Предлагаемая система мониторинга использует беспроводное подключение к КИП посредством мобильного (носимого) устройства сбора данных. При этом на КИП устанавливается дополнительное стационарное устройство, обеспечивающее регулярное измерение требуемых параметров состояния катодной защиты, их хранение и структурирование перед непосредственной передачей на мобильное устройство. Передача данных осуществляется с помощью локальных радиомодулей по запросу мобильного устройства на основе разработанных алгоритмов и методик.

Предложенный подход обеспечивает решение следующих задач:

- обслуживающий персонал освобождается от необходимости подходить к КИП и снимать показания с датчиков КИП контактным способом;

- происходит автоматическая передача накопленной информации при приближении мобильного устройства сбора данных к КИП на расстояние менее 300 м.

Прием персоналом данных от КИП из транспортного средства – практически «на проходе», в автоматическом или полуавтоматическом режиме минимизирует и в идеале исключает человеческий фактор, влияющий на корректность измерений, и одновременно снижается влияние погодных условий как на процесс измерения, так и на его периодичность.

Следующий немаловажный аспект – это хранение в мобильном (носимом) устройстве данных, полученных от каждого КИП обслуживаемого участка трубопровода. Процесс соединения, взаимной идентификации устройств и считывание информации выполняется автоматически при приближении носимого устройства к очередному КИП на расстояние менее 300 м.

В случае корректного соединения и идентификации мобильное устройство выдает разрешение на передачу данных от стационарного устройства КИП. В процессе сеанса связи устройства обмениваются информацией несколько раз с целью минимизации ошибки передачи данных. При этом мобильное устройство сбора обеспечивает сохранность и доступность измерений, полученных в течение установленного периода, и их обновление.

Предполагается, что в стационарном и мобильном устройствах должен присутствовать алгоритм шифрования данных, что обусловлено требованиями и регламентами потенциального заказчика. В частных случаях этот процесс может быть упрощен и сведен к алгоритмам аутентификации и идентификации.

По завершении передачи накопленных за контрольный период данных сеанс связи разрывается и стационарное устройство КИП переходит в режим дальнейших измерений, а мобильный прибор систематизирует и сохраняет данные в определенном формате.

Проверку качества данных и работоспособности оборудования может осуществлять технический персонал отбором данных с КИП

контактным способом, и даже при этом минимизируется количество затрачиваемых ресурсов, в т. ч. часы наработки техники, расход горючего, а также общее время прохождения маршрута при предварительной загрузке в память мобильного устройства списка и координат обслуживаемых КИП, чтобы специальный алгоритм позиционирования самостоятельно определил момент инициации сеанса связи и протокола сбора данных.

После передачи данных на сервер выполняется аналитическая обработка, по результатам которой в графическом и табличном форматах можно проводить анализ измерений, динамики изменений для произвольного временного интервала, выполнять диагностику и прогнозировать состояние выбранного участка трубопровода.

Рассмотрим общую структурную схему системы беспроводного считывания параметров состояния СКЗ. Комплект оборудования состоит из стационарной и мобильной части (рис. 1). Стационарная часть оборудования, или наземное устройство, устанавливается

непосредственно в стойке КИП. Основным элементом схемы является Процессор 1, который управляет всей работой наземного оборудования. С его помощью аналоговые сигналы с датчиков системы катодной защиты поступают на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), преобразуются в цифровую форму, упорядочиваются, структурируются и накапливаются в требуемом формате в энергонезависимой памяти устройства. Период измерений определяется принятым регламентом обслуживания либо программируется в соответствии с текущими требованиями. Блок часов реального времени определяет дату и время, что позволяет выполнить временную привязку текущих измерений. Приемо-передающее устройство осуществляет прием сигналов запроса и управления от мобильного устройства, а также передачу на мобильное устройство файла с данными, накопленными в энергонезависимой памяти. Алгоритм приема и передачи данных описан выше.

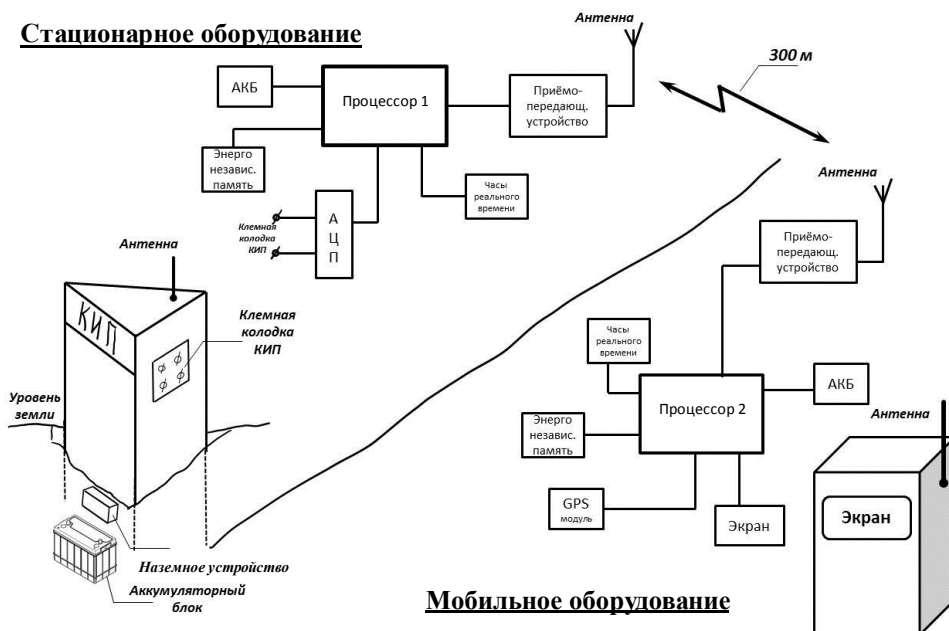


Рис. 1. Структурная схема системы беспроводного считывания данных станции катодной защиты

Примечание: составлено авторами.

Электропитание стационарного комплекта оборудования осуществляется от аккумуляторных батарей (АКБ). Поскольку оборудование должно функционировать непрерывно

в течение продолжительного времени (не менее 6 месяцев) в широком диапазоне погодных условий и температур, выбор источника питания является достаточно серьезной тех-

нической задачей и требует специальной проработки.

Мобильное устройство состоит из Процессора 2, GPS-модуля, приемо-передающего устройства, съемной карты энергонезависимой памяти, блока часов реального времени. Процессор 2 управляет работой всех элементов, входящих в состав мобильного оборудования, и реализует алгоритм считывания данных со стационарного оборудования ближайшего КИП в соответствии с алгоритмом, описанным выше. Модуль GPS позволяет контролировать текущие координаты мобильного устройства. На основе этих данных Процессор 2 рассчитывает текущее расстояние до очередного КИП и инициирует процедуру считывания данных. Использование съемной карты SD-памяти обусловлено удобством переноса полученных измерений на сервер обработки данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе предложенного подхода к беспроводному считыванию данных СКЗ собран макет, реализующий структурную схему рис. 1. Внешний вид стационарного и мобильного устройств представлен на рис. 2. На фотографии запечатлен момент опытной демонстрации передачи измерений защитного потен-

циала со стойки КИП на блок мобильного устройства. Видно, что стационарный блок подключен к клеммам стойки КИП, а на индикаторе мобильного устройства отображается измеренное значение. Комплект обеспечивает периодическое измерение текущего значения защитного потенциала на стороне стационарного устройства (блока передатчика). Измерения выполняются путем контактного съема, предварительно обрабатываются и записываются в энергонезависимую память (SD-карта), с целью формирования пакета накопленных данных для последующей передачи на мобильное устройство (устройство приема). В свою очередь, устройство приема иерархически, в соответствии с идентификатором пунктов КИП, систематизирует накопленные пакеты для дальнейшей передачи в центр обработки. Следует отметить, что в конкретном случае (рис. 2) мобильный блок оставался неподвижным.

Дальнейшие предварительные исследования проводились в реальных условиях при движении носителя макета по открытой пересеченной местности, а также в зоне лесополосы. Во время исследований мобильное устройство было закреплено на корпусе транспортного средства на уровне ~1,5 м от поверхности земли.



Рис. 2. Внешний вид мобильного и стационарного устройств

Примечание: составлено авторами.

Суть эксперимента заключалась в определении условно максимальной дальности

действия приемо-передатчиков мобильного и стационарного устройств. В качестве приемо-

передающего элемента был выбран радиомодуль NRF24L01 + PA LNA [17], работающий на частоте 2,4 ГГц и использующий для обмена данными собственный протокол.

На рис. 3 показан район проведения экспериментальных исследований. Отметка 1 на карте соответствует GPS-координатам

56.529073 СШ, 84.731658 ВД, отметка 3 – координатам 56.536348 СШ, 84.716974 ВД. Участки маршрута движения транспортного средства (носителя приемного устройства) обозначены точками (1–2), (3–4) и (3–5). Характеристики участков и условия проведения измерений сведены в табл. 1.

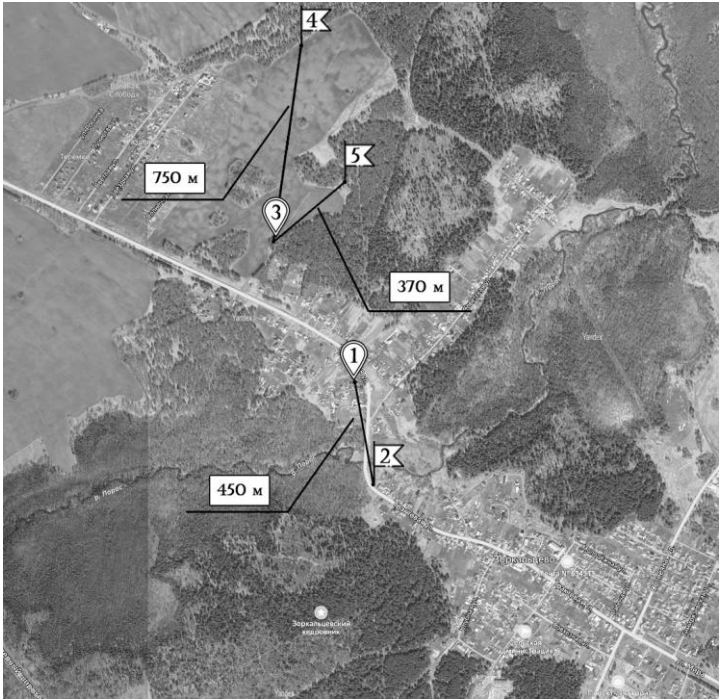


Рис. 3. Карта участка местности проведения испытаний
 Примечание: составлено авторами.

Коэффициент потерь в табл. 1 определяет качество передачи данных на соответствующей трассе. Коэффициент рассчитывается

как отношение принятых последовательных пакетов к общему числу переданных, выраженное в процентах.

Таблица 1

Условия и результаты проведения измерений

Приемник, № точки	Передатчик, № точки	Внешние условия	Дополнительные условия	Дальность, м	Коэффициент потерь (макс.), %
1	2	Деревенская застройка	Измерения при движении приемника	10–400	3
1	2	Деревенская застройка	Передатчик и приемник неподвижны	450	1
3	4	Поле – Поле	Передатчик и приемник неподвижны	550	5
3	4	Поле – Поле	Измерения при движении приемника	550–630	20
3	4	Поле – Поле	Передатчик и приемник неподвижны	750	15
3	5	Поле – Редкая лесополоса	Передатчик и приемник неподвижны	250	1

Окончание табл. 1

Приемник, № точки	Передатчик, № точки	Внешние условия	Дополнительные условия	Дальность, м	Коэффициент потерь (макс.), %
3	5	Поле – Редкая лесаполоса	Измерения при движении приемника	250–320	10
3	5	Поле – Редкая лесаполоса	Передатчик и приемник неподвижны	370	40

Примечание: составлено авторами.

Для выбранной элементной базы при использовании штыревой антенны при всех условиях испытания была обеспечена стабильная дальность действия от 300 до 600 м в условиях открытых участков, и до 300 м – в условиях лесаполосы. Таким образом, результаты эксперимента демонстрируют возможность использования выбранной конструкции для последующей разработки прототипа и его испытаний в реальных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В процессе исследований был разработан подход к созданию системы беспроводного считывания параметров состояния катодной защиты магистральных трубопроводов в условиях отсутствия общедоступных сетей связи.

2. Выполнено макетирование комплекта оборудования, обеспечивающего периодическое измерение текущего значения защитного

потенциала, оцифровку и накопление данных, бесконтактное считывание и передачу в центр обработки.

3. Проведены предварительные экспериментальные исследования разработанного макета.

4. Результаты экспериментов подтвердили возможность практической реализации предложенного подхода и его применения для задач мониторинга системы катодной защиты магистральных трубопроводов.

Дальнейшее развитие подхода следует рассматривать в конструкторской доработке устройств, выборе элементной базы, обеспечивающей энергосбережение при работе стационарных устройств, разработке прикладного программного обеспечения для процессоров и надежной реализации алгоритма считывания данных, а также разработке алгоритмов обработки данных.

Список источников

1. Рахманкулов Д. Л., Кузнецов М. В., Габитов А. И. Современные системы защиты от электрохимической коррозии подземных коммуникаций. Том 1. Катодная защита густоразветвленной сети подземных трубопроводов. Уфа : Реактив, 1999. 231 с.
2. Рахманкулов Д. Л., Кузнецов М. В., Гафаров Н. А. Современные системы защиты от электрохимической коррозии подземных коммуникаций. Том 2. Электрохимическая защита от коррозии в примерах и расчетах. Уфа : Реактив, 2003. 160 с.
3. ОРИОН ИП-01 – измеритель потенциалов цифровой. URL: https://www.electronpribor.ru/catalog/440/orion_ip-01.htm (дата обращения: 20.01.2023).
4. Никулин С. А., Карнавский Е. Л., Воробьев А. Н. Разработка методики оценки состояния изоляционного покрытия участка нефтегазопровода // Территория Нефтегаз. 2020. № 1–2. С. 38–44.
5. СТО Газпром 9.2-003-2009. Защита от коррозии. Проектирование электрохимической защиты подземных сооружений. URL: <https://samara-tr.gaz>

References

1. Rakhmankulov D. L., Kuznetsov M. V., Gabitov A. I. Sovremennye sistemy zashchity ot elektrokhimicheskoi korrozii podzemnykh kommunikatsii. Vol. 1. Katodnaia zashchita gustorazvetvlennoi seti podzemnykh truboprovodov. Ufa: Reaktiv; 1999. 231 p. (In Russian).
2. Rakhmankulov D. L., Kuznetsov M. V., Gafarov N. A. Sovremennye sistemy zashchity ot elektrokhimicheskoi korrozii podzemnykh kommunikatsii. Vol. 2. Elektrokhimicheskaya zashchita ot korrozii v primerakh i raschetakh. Ufa: Reaktiv; 2003. 160 p. (In Russian).
3. ORION IP-01 – izmeritel potentsialov tsifrovoy. URL: https://www.electronpribor.ru/catalog/440/orion_ip-01.htm (accessed: 20.01.2023). (In Russian).
4. Nikulin S. A., Karnavsky E. L., Vorobyev A. N. Development of a method for assessment the state of the insulation coating of the oil and gas pipeline section. *Territoriia Neftegaza*. 2020;(1–2):38–44. (In Russian).
5. STO (Company Standard) Gazprom 9.2-003-2009. Corrosion protection. Design of cathode protection

- prom.ru/d/textpage/8e/142/sto-gazprom-9.2-003-2009-zashchita-ot-korrozii.-proektirovanie-e.pdf?ysclid=liwm0h39gr422242089 (дата обращения: 20.01.2023).
6. Защита трубопровода от коррозии. URL: https://www.kzit.ru/company/articles/zashchita_truboprovoda_ot_korrozii/?ysclid=liwm829ttf225810620 (дата обращения: 20.01.2023).
 7. Бабков А. В., Лапшин В. В. Автоматизированная система мониторинга и управления станций катодной защиты магистральных нефтепроводов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2007. № 5. С. 6–8.
 8. Ларкин Е. В., Панарин М. В. Система сбора информации о состоянии станций катодной защиты газопроводов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. № 2–2. С. 143–147.
 9. Автоматизированная система контроля станций катодной защиты водопровода с использованием радиомодемов «Невод». URL: <https://www.geolink.ru/blog/avtomatizirovannaja-sistema-kontrolja-stancij-katodnoj-zaschity-vodoprovoda-s-ispolz-zovaniem-radiomodemo-nevod.html?ysclid=liwm9am1nc68253595> (дата обращения: 20.01.2023).
 10. Бушмелев П. Е. Беспроводная сенсорная телекоммуникационная система контроля утечек метана из магистралей газотранспортной сети : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 24 с.
 11. Распопов Е. В., Юнусов А. Р., Балахонцев В. Е. и др. Устройство измерения потенциалов электрохимической защиты : патент 2308703C2 Рос. Федерация № 2005104200/28 ; заявл. 16.02.2005 ; опубл. 20.10.2007. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2308702C2_20071020.pdf (дата обращения: 20.01.2023).
 12. Пужайло А. Ф., Кривдин А. Ю., Вититнев О. Ю. и др. Устройство бесконтактного измерения тока катодной защиты : патент 2379673C1 Рос. Федерация № 2008130265/28 ; заявл. 21.07.2008 ; опубл. 20.01.2010. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2379673C1_20100120.pdf (дата обращения: 15.03.2023).
 13. Голдобина Л. А., Гусев В. П., Попова Е. С. и др. Способ измерения поляризационного потенциала металлических подземных сооружений без отключения станции катодной защиты : патент 2461842C2 Рос. Федерация № 2010145924/28 ; заявл. 10.11.2010 ; опубл. 20.09.2012. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2461842C2_20120920.pdf (дата обращения: 15.03.2023).
 14. Баженов А. В., Малыгин С. В., Федоренко В. В. и др. Способ мониторинга внутренних коррозионных изменений магистрального трубопровода и устройство для его осуществления : патент 2514822C2 Рос. Федерация № 2012125083/06 ; заявл. 15.06.2012 ; опубл. 10.05.2014. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2514822C2_20140510.pdf (дата обращения: 15.03.2023).
 15. Костенко Ю. А., Петрушов Ю. Ю., Выхованец А. Ю. Устройство дистанционного контроля параметров ЭХЗ : патент 94017U1 Рос. Федерация № 2010100371/22 ; заявл. 30.12.2009 ; опубл. 10.05.2010. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU94017U1_20100510.pdf (дата обращения: 15.03.2023).
 - for underground structures. URL: <https://samara-tr.gazprom.ru/d/textpage/8e/142/sto-gazprom-9.2-003-2009-zashchita-ot-korrozii.-proektirovanie-e.pdf?ysclid=liwm0h39gr422242089> (accessed: 20.01.2023). (In Russian).
 6. Zashchita truboprovoda ot korrozii. URL: https://www.kzit.ru/company/articles/zashchita_truboprovoda_ot_korrozii/?ysclid=liwm829ttf225810620 (accessed: 20.01.2023). (In Russian).
 7. Babkov A. V., Lapshin V. V. An automated control and monitoring system for cathodic protection stations of oil-trunk pipelines. *Industrial Automatic Control Systems and Controllers*. 2007;(5):6–8. (In Russian).
 8. Larkin E. V., Panarin M. V. Sistema sbora informatsii o sostoianii stantsii katodnoi zashchity gazoprovodov. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. 2010;(2–2):143–147. (In Russian).
 9. Avtomatizirovannaja sistema kontrolja stantsij katodnoj zashchity vodoprovoda s ispolzovaniem radiomodemo “Nevod”. URL: <https://www.geolink.ru/blog/avtomatizirovannaja-sistema-kontrolja-stancij-katodnoj-zaschity-vodoprovoda-s-ispolz-zovaniem-radiomodemo-nevod.html?ysclid=liwm9am1nc68253595> (accessed: 20.01.2023). (In Russian).
 10. Bushmelev P. E. Besprovodnaia sensornaia telekommunikatsionnaia sistema kontrolja utechk metana iz magistralei gazotransportnoi seti. Extended abstract of Cand. Sci. (Engineering) Thesis. Moscow; 2014. 24 p. (In Russian).
 11. Raspopov E. V., Yunusov A. R., Balakhontsev V. E. et al. Device for measuring potentials of electrochemical corrosion protection. RU Patent 2308703C2 No. 2005104200/28, filed February 16, 2005, issued October 20, 2007. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2308702C2_20071020.pdf (accessed: 20.01.2023). (In Russian).
 12. Puzhailo A. F., Krivdin A. Yu., Vititnev O. Yu. et al. Device contactless measurement of cathode protection current. RU Patent 2379673C1 No. 2008130265/28, filed July 21, 2008, issued January 20, 2010. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2379673C1_20100120.pdf (accessed: 15.03.2023). (In Russian).
 13. Goldobina L. A., Gusev V. P., Popova E. S. et al. Method of polarisation potential of metallic subsurface structures without switching off cathodic protection station. RU Patent 2461842C2 No. 2010145924/28, filed November 10, 2010, issued September 20, 2012. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2461842C2_20120920.pdf (accessed: 15.03.2023). (In Russian).
 14. Bazhenov A. V., Malygin S. V., Fedorenko V. V. et al. Method to monitor internal corrosive changes of manifold pipeline and device for its realization. RU Patent 2514822C2 No. 2012125083/06, filed June 15, 2012, issued May 10, 2014. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2514822C2_20140510.pdf (accessed: 15.03.2023). (In Russian).
 15. Kostenko Yu. A., Petrushov Yu. Yu., Vykhovnets A. Yu. Device for remote monitoring of cathode

16. Исаев А. В., Востриков А. Е. Система дистанционного контроля состояния подземных трубопроводов : патент 2701706C1 Рос. Федерация № 2019102626 ; заявл. 30.01.2019 ; опубл. 30.09.2019. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2701706C1_20190930.pdf (дата обращения: 15.03.2023).
17. Радиомодуль NRF24L01. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/radio-modul-nrf24l01/> (дата обращения: 20.01.2023).
16. protection characteristics. RU Patent 94017U1 No. 2010100371/22, filed December 30, 2009, issued May 10, 2010. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU94017U1_20100510.pdf (accessed: 15.03.2023). (In Russian).
16. Isaev A. V., Vostrikov A. E. System for remote monitoring of underground pipelines state. RU Patent 2701706C1 No. 2019102626, filed January 30, 2019, issued September 30, 2019. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2701706C1_20190930.pdf (accessed: 15.03.2023). (In Russian).
17. Radiomodul NRF24L01. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/radio-modul-nrf24l01/> (accessed: 20.01.2023). (In Russian).

Информация об авторах

Ю. Б. Попов – кандидат технических наук, доцент.
Г. П. Давыдюк – аспирант.
К. Ю. Попова – кандидат физико-математических наук, доцент.
А. А. Белагина – магистрант.

Information about the authors

Yu. B. Popov – Candidate of Sciences (Engineering), Docent.
G. P. Davydyuk – Postgraduate.
K. Yu. Popova – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Docent.
A. A. Belagina – Master's Degree Student.