

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-3-257-267>

УДК 66.042.945: 620.197.5

Организация электрохимической защиты стальных подземных трубопроводов от коррозии в газораспределительной отрасли Республики Беларусь

Н. В. Струцкий¹⁾, В. Н. Романюк²⁾

¹⁾ГПО «Белтопгаз» (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2024
Belarusian National Technical University, 2024

Реферат. Стальные подземные газопроводы занимают значительную долю в общей протяженности распределительных газопроводов, в связи с чем поддержание их в надлежащем состоянии представляет собой постоянную и весьма актуальную задачу. В силу своего глобального характера основным влияющим фактором, воздействующим на техническое состояние любых стальных подземных трубопроводов, включая газопроводы, является коррозия, в первую очередь почвенная. Для защиты от нее на трубопроводных сетях наряду с изоляционными покрытиями применяется электрохимическая защита (ЭХЗ), то есть, следуя определению СТО 17330282.27.060.001–2008, защита металла от коррозии в электролитической среде, осуществляемая установлением на нем защитного потенциала или устранением анодного смещения потенциала от стационарного. В газораспределительной отрасли страны методы и средства электрохимической защиты применяются с начала газификации и строительства первых газопроводов. Во всех газоснабжающих организациях Государственного производственного объединения по топливу и газификации (ГПО) «Белтопгаз» (шести областных и г. Минска), осуществляющих эксплуатацию объектов газораспределения, функционируют специализированные службы по защите от коррозии. Они обеспечивают обслуживание наличных средств ЭХЗ, проведение электрофизических измерений на газопроводах и коррозионных исследований грунтов, располагают аттестованными лабораториями. Настоящая статья посвящена вопросам анализа отечественного опыта организации электрохимической защиты стальных подземных распределительных газопроводов, поиска перспективных направлений ее совершенствования и повышения эффективности за счет проведения единой отраслевой технической политики, автоматизации и телемеханизации средств ЭХЗ в общем контексте цифровой трансформации, оптимизации сроков и объемов технического обслуживания.

Ключевые слова: стальной подземный газопровод, коррозия, катодная поляризация, электрохимическая защита, эксплуатация, автоматизация технологических процессов, телемеханизация

Для цитирования: Струцкий, Н. В. Организация электрохимической защиты стальных подземных трубопроводов от коррозии в газораспределительной отрасли Республики Беларусь / Н. В. Струцкий, В. Н. Романюк // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2023. Т. 67, № 3. С. 257–267. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-3-257-267>

Адрес для переписки

Романюк Владимир Никанорович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65/2,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-92-16
pte@bntu.by

Address for correspondence

Romaniuk Vladimir N.
Belarusian National Technical University
65/2, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-92-16
pte@bntu.by

Organization of Electrochemical Protection of Steel Underground Pipelines Against Corrosion in the Gas Distribution Industry of the Republic of Belarus

N. V. Strutsky¹⁾, V. N. Romaniuk²⁾

¹⁾Beltopgaz SPA (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Steel underground gas pipelines occupy a significant share of the total length of gas distribution pipelines, and therefore their maintenance in proper condition is a constant and very urgent task. Due to its global nature, the main influencing factor affecting the technical condition of any steel underground pipelines, including gas pipelines, is corrosion, primarily soil corrosion. To protect against it on pipeline networks, along with insulating coatings, electrochemical protection (ECP) is applied, that is, following the definition of STO [Standard of Organization] 17330282.27.060.001–2008, protection of metal against corrosion in an electrolytic environment, carried out by establishing a protective potential on it or eliminating the anodic potential shift from the stationary potential. In the gas distribution industry of the country, methods and means of electrochemical protection have been applied since the beginning of gasification and the construction of the first gas pipelines. All gas supplying organizations of the State Production Association for Fuel and Gasification “Beltopgaz” (six regional and Minsk city), which operate gas distribution facilities, have specialized corrosion protection services. These services provide maintenance of available ECP equipment, conduct electrical measurements on gas pipelines and corrosion studies of soils, and have certified laboratories. This paper is devoted to the analysis of domestic experience in organizing electrochemical protection of steel underground gas distribution pipelines, searching for promising directions for its improvement and increasing efficiency through the implementation of a unified industry technical policy, automation and telemechanization of ECP equipment in the general context of digital transformation, optimization of the timing and volume of maintenance.

Keywords: steel underground gas pipeline, corrosion, cathodic polarization, electrochemical protection, operation, automation of technological processes, telemechanization

For citation: Strutsky N. V., Romaniuk V. N. (2024) Organization of Electrochemical Protection of Steel Underground Pipelines Against Corrosion in the Gas Distribution Industry of the Republic of Belarus. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 67 (3), 257–267. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-3-257-267> (in Russian)

Введение

Подземный стальной трубопровод эксплуатируется в почве (грунте), то есть чрезвычайно сложной и динамически изменчивой вмещающей среде [1], оказывающей на металл сооружения целый комплекс воздействий, в том числе коррозионных. Коррозия представляет опасность повреждения и разгерметизации трубопроводов и, как следствие, образования утечек транспортируемой среды, что создает риски возникновения различных нештатных и аварийных ситуаций. Наружная коррозия является основной причиной отказов для большинства стальных подземных коммуникаций, на тепловых сетях, например, доля коррозионных отказов доходит до 70–90 % от общего количества [2, 3].

Так как коррозия стали представляет собой электрохимический процесс, его затормаживание может быть достигнуто исключительно противо-

положно направленным внешним электрическим (или электромагнитным) воздействием, формируемым электрохимической защитой (ЭХЗ) [4, 5]. Из всех распределительных (коммунальных) трубопроводных систем наиболее широкое применение средства ЭХЗ нашли для защиты стальных подземных трубопроводов газораспределительной системы.

Основная часть

Межгосударственным стандартом ГОСТ 9.602–2016 [6] средства ЭХЗ предусматриваются для металлических сооружений в высоко- и среднеагрессивных грунтах (табл. 1), в зонах опасного действия блуждающих постоянных и переменных токов, на участках, подверженных биокоррозии. Коррозионная агрессивность грунта по отношению к стали оценивается по удельному электрическому сопротивлению, измеренному в полевых или лабораторных условиях, и средней плотности катодного тока при смещении потенциала на 100 мВ отрицательней стационарного потенциала стали в грунте. Если при определении удельного электрического сопротивления грунта установлена его высокая коррозионная агрессивность, другой показатель не определяют. При удельном электрическом сопротивлении грунта, равном или превышающем 130 Ом·м, коррозионную агрессивность грунта считают низкой и по средней плотности катодного тока не оценивают [6]. Критерии коррозионной агрессивности грунта при необходимости можно также представить в виде его удельной электропроводности или удельного катодного поляризационного сопротивления (удельной катодной поляризации).

Таблица 1

Критерии коррозионной агрессивности грунта

Criteria for soil corrosiveness

Коррозионная агрессивность грунта	Удельное электрическое сопротивление грунта ρ_r , Ом·м	Удельная электропроводность грунта G_r , См/м	Средняя плотность катодного тока $j_{\text{пол}}$, А/м ²	Удельное катодное поляризационное сопротивление P_k , Ом·м ²
Низкая	Свыше 50	До 0,02	До 0,05	Свыше 2
Средняя	Свыше 20 до 50	Свыше 0,02 до 0,05	Свыше 0,05 до 0,2	Свыше 0,5 до 2
Высокая	До 20	Свыше 0,05	Свыше 0,20	До 0,5

Всего насчитывается четыре вида электрохимической (активной) защиты: катодная, протекторная, электродренажная и анодная. Наиболее распространенным является метод катодной поляризации, который заключается в наложении на металлическое сооружение отрицательного электрического (защитного) потенциала. Таким образом, трубопровод на протяжении защищаемого участка как бы обращается в катод [7] и скорость коррозионного процесса становится минимально возможной для данных условий.

По состоянию на 01.01.2024, общая протяженность наружных распределительных газопроводов, находящихся на балансе газоснабжающих организаций

ГПО «Белтопгаз», составляет около 67,5 тыс. км. Протяженность стальных газопроводов 30,0 тыс. км, 28,2 тыс. км из них подземные (рис. 1).

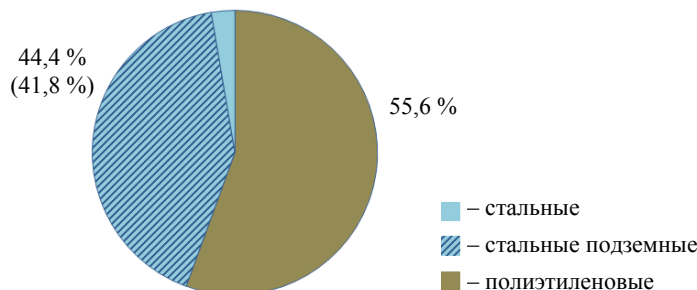


Рис. 1. Место стальных подземных газопроводов в структуре газораспределительной сети республики

Fig. 1. Place of steel underground gas pipelines in the structure of the gas distribution network of the Republic

Активной защитой обеспечено 26,7 из 28,2 тыс. км стальных подземных распределительных газопроводов, или 94,7 %. Эксплуатируемый парк установок ЭХЗ на 96,2 % состоит из станций катодной защиты (СКЗ), также в работе находится небольшое количество протекторных (для защиты подземных резервуаров сжиженного углеводородного газа) и электродренажных установок (для защиты от блуждающих токов). На объектах газораспределительной системы Республики Беларусь применяются, как правило, автоматические катодные станции (рис. 2), имеющие специальные блоки, обеспечивающие автоматическое регулирование выходных защитных параметров. Автоматическое регулирование позволяет поддерживать величину защитного тока и разность потенциалов между подземным сооружением и землей в заданных пределах. Катодные станции и электродренажи, как правило, обеспечены средствами телемеханики (ТМ).

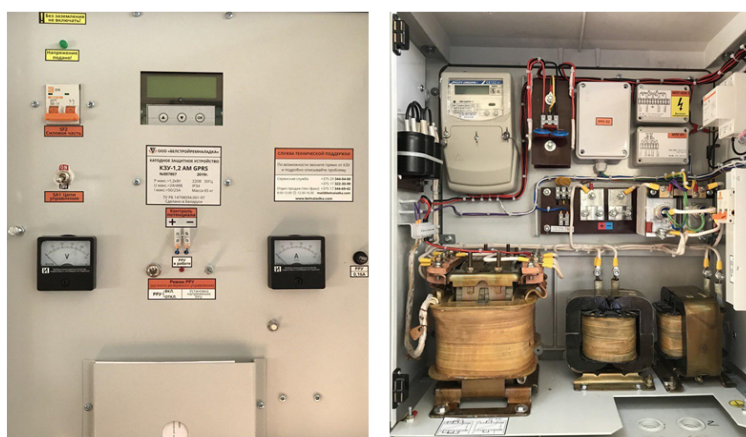


Рис. 2. Катодное защитное устройство КЗУ-1.2 AM GPRS

Fig. 2. Cathodic protective device KZU-1.2 AM GPRS

Для эффективного использования вырабатываемого установками ЭХЗ электрического тока на выходах газопроводов из земли устанавливаются электроизолирующие соединения (ЭИС) – фланцы и муфты. ЭИС предотвращают попадание защитного тока на внутренние газопроводы зданий, а тока от неисправной электрической части установленного в зданиях газопользующего оборудования – на наружные газопроводы.

Количественные данные о средствах электрохимической защиты, установленных на объектах газораспределительной системы, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Средства электрохимической защиты газопроводов
Means of electrochemical protection of gas pipelines

Установки ЭХЗ						Протекторные установки	Электроизолирующие соединения
Катодные станции			Электродренажи				
всего	с ТМ	резерв	всего	с ТМ	резерв	всего	всего
5287	4808	392	70	70	6	139	291314

Как видно из таблицы, в резерве находится 398 катодных станций и дренажей, что составляет 9,4 % от общего парка. Доля телемеханизированных установок достигает 91,1 %, что значительно превышает обычный для газовых хозяйств стран ЕАЭС уровень (10–15 %).

Ведомственной координационной группой (ВКГ) по защите от коррозии ГПО «Белтопгаз» (коллегиальным совещательным органом, объединяющим руководителей и специалистов профильных служб газоснабжающих организаций республики) в начале 2000-х гг. была выработана наиболее рациональная стратегия внедрения телемеханизации средств ЭХЗ – установка уже оснащенных системой телемеханики в заводских условиях современных катодных преобразователей, в первую очередь:

- взамен морально и физически устаревших;
- в местах, значительно удаленных от баз обслуживания;
- при укрупнении зон защиты, где работа станций осуществлялась в режимах, пониженных относительно номинального, с низким КПД (из-за избыточного запаса мощности, принятого на стадии проектирования);
- при новом строительстве объектов газораспределительной системы.

Принятый подход, наряду с известными преимуществами дистанционного управления и контроля установок ЭХЗ, одновременно позволил получить максимальный эффект от снижения объемов работ по их эксплуатации.

Так, в соответствии с [8], техническое обслуживание установок ЭХЗ должно проводиться не реже:

- одного раза в месяц – для СКЗ, расположенных в сельской местности;
- двух раз в месяц – для СКЗ, расположенных в городской местности;
- четырех раз в месяц – для установок дренажной защиты.

Периодичность проведения технического обслуживания установок ЭХЗ, оснащенных системами телемеханики, назначается эксплуатирующей организацией самостоятельно [8]. В системе ГПО «Белтопгаз» установлена единая периодичность обслуживания для всех телемеханизированных установок ЭХЗ – не реже двух раз в год. Таким образом, плотность технического обслуживания для СКЗ на селе может быть снижена в шесть раз, в городе – в 12 раз, для электродренажей – в 24 раза, без ухудшения качества обслуживания и уровня технического состояния средств ЭХЗ.

Отталкиваясь от уровня телемеханизации, зафиксированного по состоянию на 01.01.2024, и распределения СКЗ между городской и сельской местностями, совокупное снижение объемов технического обслуживания установок ЭХЗ за счет их телемеханизации в масштабах отрасли в текущем году составит 82,5 % (рис. 3), или 91,7 тыс. работ в абсолютных цифрах.

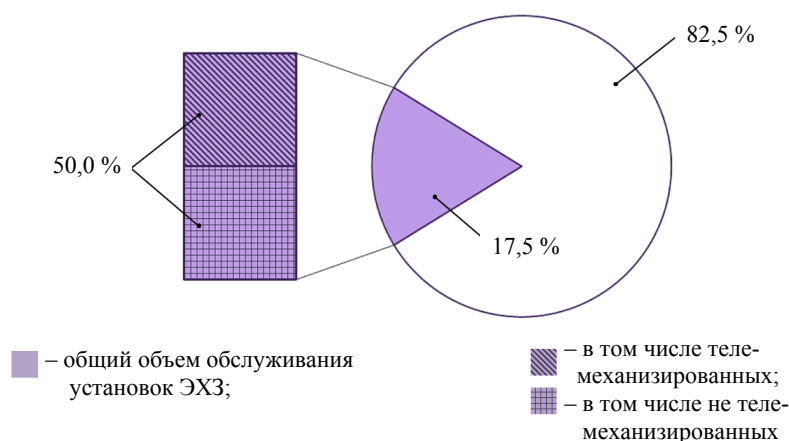


Рис. 3. Эффект телемеханизации на объемы обслуживания установок ЭХЗ

Fig. 3. Effect of telemechanization on the volume of maintenance of ECP installations

То есть вместо 111,2 тыс. работ по техническому обслуживанию установок ЭХЗ необходимо будет выполнить всего 19,5 тыс. работ. При этом, как видно из рис. 3, несмотря на несопоставимые количества телемеханизированных и нетелемеханизированных установок (4878 ед. и 479 ед. соответственно), их объемы обслуживания будут одинаковыми.

Основным контролируемым параметром электрохимической защиты стальных трубопроводов является защитный потенциал, определяемый в контрольных (опорных) точках вдоль трассы коммуникации не реже чем два раза в год, с интервалом между проверками не менее четырех месяцев [8]. Именно по данному параметру оценивается эффективность работы ЭХЗ и принимается решение (при необходимости) об изменении режима работы защитных установок.

Соответственно одним из перспективных решений, направленных на совершенствование электрохимической защиты (в особенности в условиях протяженных трубопроводных систем), является использование интел-

лектуальных контрольно-измерительных пунктов (КИП), позволяющих осуществлять дистанционный контроль защитного потенциала по трассе коммуникации. На рис. 4 изображен комплекс мониторинга защитного потенциала металлических трубопроводов КМЗП, который может использоваться в составе подобных КИП. Комплекс предоставляет возможность автоматического измерения защитного потенциала в соответствии с гостированными методиками, обеспечивая сохранение и передачу накопленной информации в сети Narrow Band Internet of Things (NBIoT) [9].



Рис. 4. Комплекс мониторинга защитного потенциала КМЗП [9]

Fig. 4. Complex for monitoring the protective potential of KMZP [9]

В настоящее время интеллектуальные КИП активно внедряются в системе ГПО «Белтопгаз». Так, Программа комплексной модернизации производств газовой сферы на 2021–2025 гг. среди прочих мероприятий предполагает установку на распределительных газопроводах 2,2 тыс. подобных устройств, что должно повысить оперативность получения информации о защищенности газопроводов и ее достоверность, одновременно снизив трудозатраты на проведение контроля и изменив его режим с периодического на постоянный.

Вместе с тем, учитывая порядок материальных затрат на создание системы дистанционного контроля (мониторинга) электрохимической защиты стальных подземных распределительных газопроводов и сопутствующей инфраструктуры связи, целесообразно не ограничиваться одним контролируемым параметром, а двигаться в направлении многопараметрического контроля.

Так, можно обратиться к опыту газотранспортной отрасли, где, например, нормативным документом [10] в перечень контролируемых при коррозионном мониторинге магистральных газопроводов параметров включена скорость коррозии. Действительно, данный параметр можно рассматривать в качестве прямого критерия оценки коррозионной опасности, при этом для его измерения существует разнообразный набор технических

средств – датчиков и индикаторов. На рис. 5 показано одно из таких устройств – блок пластин-индикаторов БПИ-2-2. Оценка скорости коррозии в данном случае основана на измерении изменения электрического сопротивления при разрушении пластин-индикаторов различной фиксированной толщины [11].

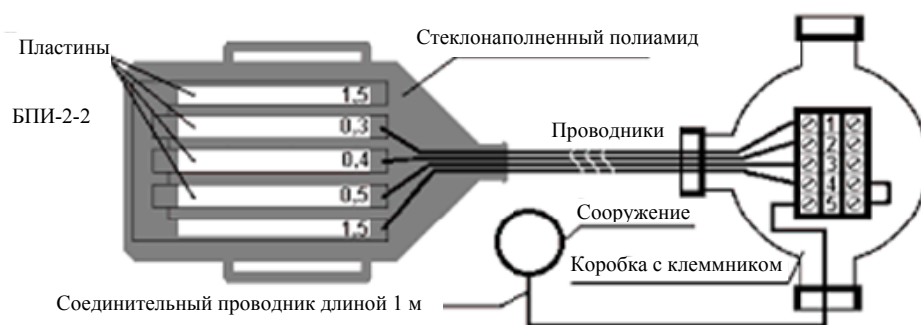


Рис. 5. Эскиз блока-индикатора коррозии БПИ-2-2 [11]

Fig. 5. Sketch of BPI-2-2 corrosion indicator unit [11]

В настоящее время уже накоплен некоторый опыт применения подобных устройств на объектах газораспределения. На данном этапе представляется, что в первую очередь контроль скорости коррозии актуален для оперативной фиксации ухудшения коррозионной ситуации на участках стальных распределительных газопроводов, не обеспеченных активной защитой. При этом также следует учитывать сложность сопоставления таких разномасштабных физических систем, как «датчик–грунт» и «трубопровод–грунт», в связи с чем для корректной интерпретации показаний датчиков (индикаторов) скорости коррозии, по всей видимости, необходим подбор соответствующего критерия подобия [5]. Вообще, вопрос расширения дистанционного перечня контролируемых параметров электрохимической защиты и коррозионной агрессивности среды весьма актуален и требует тщательной проработки.

Организация электрохимической защиты распределительных газопроводов в масштабах республики, тем более в условиях ускоренного внедрения современных технических средств, обладающих качественно новыми, расширенными функциональными возможностями, невозможна без цифровой поддержки данной сферы. Стратегия цифровизации газораспределительной отрасли предполагает отказ от «лоскутной» автоматизации отдельных технологических и бизнес-процессов в пользу создания единой отраслевой автоматизированной системы, основу которой составляют три взаимосвязанных мультипрограммных комплекса (МПК):

- «Мириада» (набор мобильных приложений для цифрового сопровождения непосредственно производства работ);
- «Панорама» (центральный комплекс, включающий в себя набор программных модулей (ПМ) под основные виды производственной деятельно-

сти, а также общую интерактивную электронную карту газораспределительной системы);

– «Вершина» (аналитическая надстройка верхнего уровня) [12].

Соответственно во всех профильных службах газоснабжающих организаций и аппарате управления ГПО «Белтопгаз» внедрен единый софт – программный модуль «Электрохимическая защита газопроводов», входящий в состав МПК «Панорама» и связанный с соответствующими разделами МПК «Мириада» и «Вершина» (рис. 6).

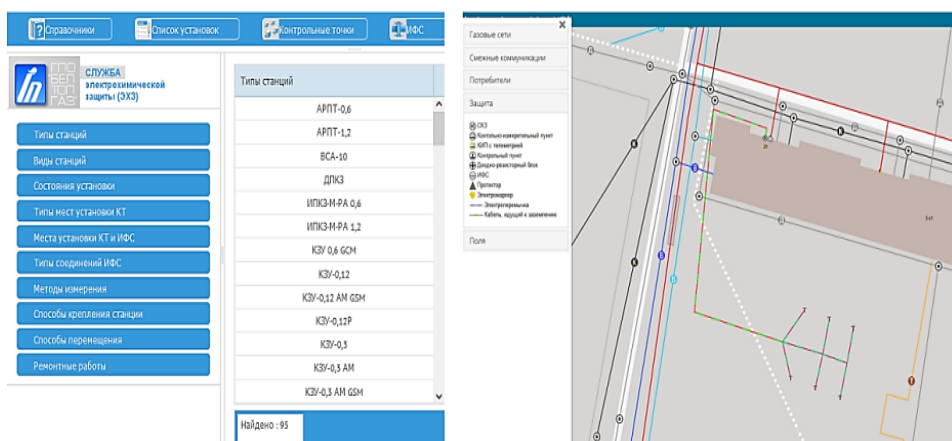


Рис. 6. Примеры рабочих окон ПМ «Электрохимическая защита газопроводов» и электронной карты МПК «Панорама»

Fig. 6. Examples of working windows of “Electrochemical protection of gas pipelines” software module and electronic map of “Panorama” software package

ПМ «Электрохимическая защита газопроводов» включает в себя функции базы данных, планировщика графиков и заданий, журнала событий, содержит каталогизированные справочники оборудования, работ и затрат, обеспечивает представление информации и ее вывод в соответствующем установленном отраслевым формам эксплуатационной документации виде. Параллельно развивается одноименный раздел МПК «Вершина», в рамках которого планируется реализация алгоритмов комплексного анализа уровня защищенности газопроводов, параметров активной защиты и технического состояния средств ЭХЗ.

ВЫВОДЫ

1. В работе освещен практический опыт организации электрохимической защиты стальных подземных распределительных газопроводов в газоснабжающих организациях ГПО «Белтопгаз». Дана характеристика общей структуры существующей системы электрохимической защиты, состава применяемых средств ЭХЗ, организации технического обслуживания, уровня автоматизации технологических процессов.

2. Проанализирован эффект от внедрения телемеханизации установок ЭХЗ на их техническое обслуживание. К настоящему моменту за счет телемеханизации 94,7 % установок объем обслуживания снижен на 82,5 %, полная телемеханизация установок ЭХЗ позволит сократить оставшийся объем сервисных работ еще в два раза.

3. Показаны преимущества дистанционного контроля защитного электрического потенциала по трассе газопровода, а также целесообразность расширения перечня дистанционно контролируемых параметров электрохимической защиты и коррозионной агрессивности среды. Предлагается использовать параметр скорости коррозии для дополнительного контроля коррозионной ситуации на участках стальных распределительных газопроводов, не обеспеченных активной защитой. Однако для корректной интерпретации измеренных значений скорости коррозии необходим критерий подобия физических систем «датчик–грунт» и «трубопровод–грунт».

4. Показано, что электрохимическая защита распределительных газопроводов в газовой отрасли Республики Беларусь полностью удовлетворяет нормативным требованиям, обеспечивая коррозионную безопасность защищаемых сооружений. Достигнутый уровень технического развития производства создает предпосылки для построения интеллектуальной, удаленно управляемой системы электрохимической защиты нового типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розанов, Б. Г. Живой покров Земли / Б. Г. Розанов. М.: Педагогика, 1989. 128 с.
2. Майоров, В. В. Повышение ресурса эксплуатационной надежности магистральных трубопроводов ОАО «Белтрансгаз» / В.В. Майоров // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2013. № 5. С. 76–81.
3. Пантелей, Н. В. Оценка состояния и анализ повреждаемости трубопроводов тепловых сетей / Н. В. Пантелей // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. № 2. С. 179–188. DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-2-179-188.
4. Романюк, В. Н. Место изоляционных покрытий в обеспечении надежности стальных подземных газопроводов / В. Н. Романюк, Н.В. Струцкий // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. 2023. № 3 (35). С. 11–20. <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2023-35-3-11-20>.
5. Притула, В. В. Современные проблемы защиты от подземной коррозии / В. В. Притула // Коррозия территории «Нефтегаз». 2012. № 3 (23). С. 18–21.
6. ГОСТ 9.602–2016. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. М.: Стандартинформ, 2016. 87 с.
7. Федорченко, В. И. Коррозия металлов / В. И. Федорченко. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. 127 с.
8. Правила обеспечения промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь. Минск: ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ», 2023. 185 с.
9. Комплекс мониторинга защитного потенциала металлических трубопроводов КМЗП [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://belgastech.by/catalog/pribory-i-ustroystva/ustroystva-kontrolya-obektov-gazovogo-khozyaystva/kompleks-monitoringa-zashchitno-go-potentsiala-metallicheskich-truboprovodov-kmzp/> (дата доступа: 02.04.2024).

10. СТО Газпром 9.4-023–2013: Мониторинг и прогноз коррозионного состояния объектов и оборудования. Система сбора, обработки и анализа данных. М., 2014. 68 с.
11. РЭ 42 1549-001-51996521–01. Блок пластин-индикаторов скорости коррозии БПИ-2. Паспорт и руководство по эксплуатации. Ставрополь, 2018. 13 с.
12. Струцкий, Н. В. Некоторые вопросы обеспечения полноты и достоверности эксплуатационных данных, получаемых в ходе приборного обследования стальных подземных газопроводов / Н. В. Струцкий, В. Н. Романюк // Наука и техника. 2024. Т. 23, № 1. С. 58–66. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-1-58-66>.

Поступила 15.02.2024 Подписана в печать 24.04.2024 Опубликовано онлайн 31.05.2024

REFERENCES

1. Rozanov B. G. (1989) *Living Cover of the Earth*. Moscow, Pedagogika Publ. 128 (in Russian).
2. Mayorov V. (2013) Improvement of Operational Reliability Resource for JSC “Beltransgaz” Main Pipelines. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* (5), 76–81.
3. Panteley N. V. (2018) Assessment of the State and Analysis of Damageability of Heating Grids Pipelines. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 61 (2) 179–188. DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-2-179-188 (in Russian).
4. Romaniuk V. N., Strutsky N. V. (2023) The Place of Insulating Coatings in Ensuring the Reliability of Steel Underground Gas Pipelines. *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye Nauki = Herald of Polotsk State University. Series F. Civil Engineering. Applied Sciences*, (3), 11–20. <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2023-35-3-11-20> (in Russian).
5. Pritula V. V. (2012) Modern Problems of Protection Against Underground Corrosion. *Korroziya Territorii “Neftegaz”* [Corrosion of the Neftegaz Territory], (3), 18–21 (in Russian).
6. State Standard 9.602–2016. *Unified System of Protection Against Corrosion and Aging. Underground Structures. General Requirements for Corrosion Protection*. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 87 (in Russian).
7. Fedorchenko V. I. (2009) *Metal Corrosion*. Orenburg, Public Educational Institution Orenburg State University. 127 (in Russian).
8. *Rules for Ensuring Industrial Safety in the Field of Gas Supply of the Republic of Belarus*. Minsk, State Institute for Advanced Training and Retraining of Personnel in the Field of Gas Supply “CAZ-INSTITUTE”, 2023. 185 (in Russian).
9. *Complex for Monitoring the Protective Potential of Metal Pipelines KMZP*. Available at: <https://belgastehnika.by/catalog/pribory-i-ustroystva/ustroystva-kontrolya-obektov-gazovogo-khozyaystva/kompleks-monitoringa-zashchitnogo-potentsiala-metallicheskich-truboprovodov-kmzp/> (accessed 02 April 2024) (in Russian).
10. СТО [Company Standard] Gazprom 9.4-023–2013. *Monitoring and Forecasting the Corrosion State of Objects and Equipment. Data Collection, Processing and Analysis System*. Moscow, 2014. 68 (in Russian).
11. RE [Instruction Handbook] 42 1549-001-51996521–01. *Block of Indicator Plates for BPI-2 Corrosion Rate. Manufacturer's Certificate and Instruction Manual*. Stavropol, 2018. 13 (in Russian).
12. Strutsky N. V., Romaniuk V. N. (2024) Some Issues of Ensuring Completeness and Reliability of Operational Data Obtained in the Course of Instrument Inspection of Steel Underground Gas Pipelines. *Nauka i Tehnika = Science & Technique*, 23 (1), 58–66. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-1-58-66> (in Russian).

Received: 15 February 2024

Accepted: 24 April 2024

Published online: 31 May 2024