

УДК 622.691.4.053

С.А. Лубенский<sup>1</sup>, e-mail: S\_Lubenskiy@vniigaz.gazprom.ru; А.К. Джафаров<sup>2</sup>;

К.И. Джафаров<sup>1</sup>, e-mail: K\_Dzhafarov@vniigaz.gazprom.ru

<sup>1</sup> ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (Москва, Россия).

<sup>2</sup> ООО «Красноярскгазпром нефтегазпроект» (Москва, Россия).

## Измерение скорости общей коррозии подземной линейной части газопроводов в реальных условиях эксплуатации

Общая коррозия металла труб является одной из главных причин разрушений подземной линейной части газопроводов высокого давления. По данным исследований, в некоторых регионах общая коррозия вызывает до 30–40 % числа аварий газопроводов. Это связано с нарушением сплошности изоляционного покрытия при строительстве или эксплуатации газопровода и последующим выходом из строя системы электрохимической защиты. По мнению авторов статьи, повышению эксплуатационной надежности подземной линейной части трубопроводов может способствовать проведение комплекса электрохимических измерений, включающих оценку коррозионной агрессивности грунтов, выполненных непосредственно в шурфах.

В статье представлены результаты лабораторных измерений скорости общей коррозии с использованием проб грунта, отобранных непосредственно на трассах действующих газопроводов, а также полевых испытаний датчика, предназначенного для определения скорости коррозии труб из углеродистых и низколегированных сталей. Датчик выполнен в виде гальванической пары или пакета изолированных гальванических пар, каждая из которых содержит анод из углеродистой или низколегированной стали, катод из магнетита  $Fe_3O_4$  и регистратор тока между ними. Исследования показали, что применение датчика позволяет с достаточной степенью достоверности оценить реальную скорость коррозии углеродистой и низколегированной стали в природной среде. Кроме того, результаты испытаний свидетельствуют о наличии возможности непрерывного измерения скорости коррозии труб непосредственно в местах прохождения трубопроводов и проведения оценки коррозионной агрессивности грунтов. По мнению авторов статьи, датчик может быть востребован также при проведении изыскательских и проектных работ.

Ключевые слова: магистральный газопровод, общая коррозия, датчик измерения скорости коррозии, электрохимическая защита, потенциал, изоляция, агрессивная среда, грунт, удельное электрическое сопротивление.

.....

S.A. Lubenskiy<sup>1</sup>, e-mail: S\_Lubenskiy@vniigaz.gazprom.ru; A.K. Dzhafarov<sup>2</sup>;

K.I. Dzhafarov<sup>1</sup>, e-mail: K\_Dzhafarov@vniigaz.gazprom.ru

<sup>1</sup> Gazprom VNIIGAZ LLC (Moscow, Russia).

<sup>2</sup> Krasnoyarskгазпром нефteгазпроект LLC (Moscow, Russia).

## Measurements of General Corrosion Rate in a Buried Linear Portion of Gas Lines under Actual Operating Conditions

General corrosion of metal pipes is a principal cause for destruction of subsoil linear portion of high-pressure gas lines. Based on the investigation data in certain regions general corrosion accounts for as high as 30–40 % of gas lines failures. The reason lies in coating continuity violation in the process of gas line construction or operation and subsequent breakdown of the electrochemical protection system. According to the authors of the article, increased operation reliability of pipeline subsoil linear portions may contribute to a complex of electrochemical measurements including evaluation of soil corrosion activity carried out directly in pits. The article presents the laboratory measurement data of general corrosion rate using soil samples taken just on active gas line routes, as well as field tests of a sensor designed to evaluate corrosion rate of pipes made of carbon and low-alloy steels. The Sensor is fabricated as a galvanic pair or a packet of insulated galvanic pairs each containing carbon-or low-alloy-steel anode, magnetite  $Fe_3O_4$  cathode, and current recorder in between. The investigations have shown that the Sensor allows satisfactory evaluation of actual corrosion rate of carbon and low-alloy steel in natural environment. Besides, the investigation data prove that it is possible to measure pipe corrosion rate non stop directly in the areas of pipeline runs and evaluation of soil corrosion activity. According to the authors of the article the Sensor may be in demand when carrying out research and design activities.

Keywords: gas main, general corrosion, corrosion rate sensor, electrochemical protection, potential, insulation, corrosive medium, soil, resistivity.

Одной из основных причин разрушения труб магистральных газопроводов (МГ) уже после 5–7 лет эксплуатации является общая коррозия в местах нарушения сплошности изоляционного покрытия. В таких зонах возможен непосредственный контакт грунтового электролита, содержащего растворенные коррозионно-агрессивные вещества, с металлической поверхностью труб, вследствие чего система электрохимической защиты (ЭХЗ) может выйти из строя.

При этом многолетние наблюдения за состоянием подземной линейной части МГ показали, что предупредить разрушение труб большого диаметра, вызванного развившейся в ходе эксплуатации коррозией, технически трудно, а подчас просто невозможно. Подтверждением тому являются статистические данные, представленные в табл. 1, информация о разрушениях подземной линейной части МГ, эксплуатирующихся ООО «Газпром трансгаз Ухта» в северных областях Европейской России [1], описание случая разрушения газопровода на территории Республики Саха (Якутия) [2] и т. д.

Отсутствие информации о действительном техническом состоянии труб не позволяет объективно прогнозировать остаточный ресурс подземной линейной части трубопроводов и своевременно провести мероприятия по их ремонту. Одним из путей повышения эксплуатационной надежности подземных газопроводов может стать непрерывный контроль скорости общей коррозии.

### ДАТЧИК СКОРОСТИ КОРРОЗИИ

В статье представлены результаты испытаний датчика, специально разработанного для измерения скорости коррозии труб и оборудования из углеродистых и низколегированных сталей в грунтах.

На сегодняшний день в российском нефтегазовом комплексе применяется ряд датчиков для измерения скорости коррозии. Так, в [3] описан датчик, вы-

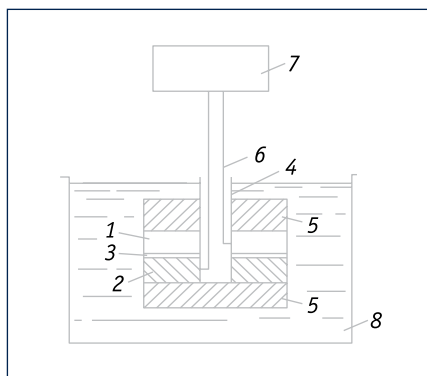


Рис. 1. Принципиальная схема устройства датчика скорости общей коррозии:

1 – катод ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); 2 – анод (сталь); 3 – изолирующая прокладка; 4 – изоляционная трубка; 5 – упорные шайбы; 6 – провода; 7 – амперметр; 8 – коррозионная среда

Fig. 1. Basic diagram of the general corrosion rate sensor design:

1 – cathode ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); 2 – anode (steel); 3 – insulating spacer; 4 – insulating tube; 5 – thrust washer; 6 – wires; 7 – ammeter; 8 – corrosion environment

полненный в виде гальванической пары или пакета изолированных пар, каждая из которых содержит стальной анод, катод и регистратор тока между ними. О скорости коррозии судят по величине тока гальванического элемента. Анод датчика выполнен из железа, катод – из меди. Главным недостатком этого датчика является низкая достоверность получаемой с его помощью информации, поскольку ток гальванического элемента не соответствует току реальной гальванической пары, образующейся на поверхности стальных труб при их взаимодействии с агрессивной средой. Используемые в настоящее время волоконно-оптические датчики контроля скорости коррозии дают возможность контролировать изменение толщины стенки трубы в ходе эксплуатации, но не позволяют оценивать коррозионную агрессивность грунтов непосредственно в полевых условиях (табл. 2) [4, 5]. Авторы статьи в полевых условиях при измерении остаточной толщины стенки

газопровода применяли толщиномер УТМ-100, однако этот прибор также не предназначен для оценки коррозионной агрессивности грунтов.

В работе [7] подробно описана методика измерения коррозионной агрессивности грунтов по отношению к стали, учитывающая такие показатели, как:

- удельное электрическое сопротивление грунта, определяемое в полевых условиях;
- удельное электрическое сопротивление грунта, определяемое в лабораторных условиях;
- средняя плотность катодного тока ( $j_k$ ), необходимого для смещения потенциала стали в грунте на 100 мВ.

Необходимо подчеркнуть, что полученные в ходе исследования результаты дают лишь ориентировочную оценку скорости коррозии стали в грунте.

Датчик, предлагаемый для проведения измерений в грунтах [8], выполнен в виде гальванической пары или пакета изолированных гальванических пар (рис. 1), каждая из которых содержит:

- катод 1, выполненный из вещества, соответствующего по химической природе веществу, образующемуся в коррозионном процессе в нейтральных и слабощелочных средах, т. е. из магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ );
- анод 2 из углеродистой или низколегированной трубной стали;
- регистратор тока 7 между ними.

Измеряемая величина характеризует реальную скорость коррозии углеродистой и низколегированной стали в среде 8.

Стоит отметить, что датчик не требует специального хранения и соблюдения дополнительных мер безопасности при работе на объекте, не имеет ограничений по длительности срока эксплуатации.

### ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Результаты лабораторных сравнительных испытаний датчика подробно рассмотрены в работе [8].

Ссылка для цитирования (for citation):

Лубенский С.А., Джафаров А.К., Джафаров К.И. Измерение скорости общей коррозии подземной линейной части газопроводов в реальных условиях эксплуатации // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2019. № 3. С. 30–35.

Lubenskiy S.A., Dzhaфарov A.K., Dzhaфарov K.I. Measurements of General Corrosion Rate in a Buried Linear Portion of Gas Lines under Actual Operating Conditions. Territorija "NEFTEGAS" = Oil and Gas Territory, 2019, No. 3, P. 30–35. (In Russian)

Таблица 1. Скорость коррозии металла труб в ряде регионов РФ (по материалам расследования аварий)

Table 1. Pipe metal corrosion rate in a number of RF areas (basing on accidents investigation records)

Область (республика) Area (republic)	Длительность эксплуатации, лет Operation period, years	Параметры трубы, мм Pipe parameters, mm	Толщина стенки трубы на момент аварии, мм Pipe wall thickness at the time of a failure, mm	Тип грунта Soil type
Саратовская The Saratov Region	5	820,0 x 8,5	1,5...1,0	Тяжелые и плотные суглинки твердой консистенции Heavy and consolidated dry plastic clay
Дагестан Dagestan	6	720,0 x 8,0	5,0...4,0	Нет информации No information
Ленинградская The Leningrad Region	7	720,0 x 7,0	4,4	Осушенный торф (красного, в верхних пластах – черного цвета) Dried peat (red, in upper formations – black colour)
Саратовская The Saratov Region	8	1220,0 x 12,5	2,0...1,0	Суглинки засоленные Brine plastic clay
	9	820,0 x 8,5	2,0...1,0	Тяжелые и плотные суглинки твердой консистенции Heavy and consolidated dry plastic clay
Самарская The Samara Region	10	820,0 x 9,0	2,0...1,0	Глина, суглинок Clay, plastic clay
	11	820,0 x 9,0	2,0...1,0	
Свердловская The Sverdlovsk Region	32	530,0 x 8,0	1,0	Глинистый, каменистый Clay soil, stony
	36	720,0 x 8,0	6,0...1,5	Глина, суглинки с включением щебня и песка Clay, plastic clay with sand and detritus inclusions
Нижегородская The Nizhni Novgorod Region	41	820,0 x 9,0	2,0...1,0	Глина песчаная плотная с поверхностным залеганием торфа на глубину до 1,5 м Sandy clay, dry with surface peat occurrence at the depth of max.1.5 m
Ставропольский край The Stavropol Territory	42	720,0 x 9,0	9,0...2,0	Просадочный суглинок, сухой Subsident plastic clay, dry

Исследования, проведенные ранее, показали, что образование трещин, их рост и, как следствие, разрушение металла труб в системе «грунт – вода» происходит при бестоковых потенциалах (потенциалах коррозии), значения которых лежат в области активного электрохимического растворения [1, 9]. Поэтому практический интерес для авторов данной статьи представляла оценка скорости общей коррозии в средах, вызывающих образование на поверхности труб коррозионных трещин, и модельной среде, в которой разрушения углеродистой стали по причине коррозионного растрескивания не происходит (3 % NaCl).

Для решения этой задачи были проведены дополнительные лабораторные испытания с использованием образцов

грунта, отобранных авторами в Центральном и Северо-Западном регионах России непосредственно в местах прохождения МГ. Места отбора образцов обусловлены тем, что в указанных районах происходили аварии, связанные с коррозионным растрескиванием под напряжением (КРН) металла труб. Отбор проб осуществлялся в соответствии с требованиями [9] на трассах газопроводов методом шурфования непосредственно у поверхности труб, а также на расстоянии 10 м от оси газопроводов на глубине 1,0–2,0 м.

Стоит отметить, что при оценке коррозионной агрессивности грунтов необходимо учитывать, что даже для грунтов, отобранных из одного места, скорость коррозии не остается постоянной во времени, т. к. зависит от сезона, когда

отбирались пробы. Кроме того, влажность не является устойчивым признаком коррозионной агрессивности грунтов, поскольку зависит от таких факторов, как:

- уровень грунтовых вод;
  - метеоусловия;
  - механический состав грунтов и т. п.
- Так, пластичные породы способны впитывать воду и быстро (в течение максимум 30 мин) размокать, превращаясь в пластичную массу, увеличиваться в объеме, приобретать липкость, а при высыхании уменьшаться в объеме: исследования показали, что при высыхании такие породы испытывают воздушную усадку и приобретают способность поглощать различные химические элементы. Таким образом, очевидно, что результаты измерений в пробах, ото-

Таблица 2. Область применения и недостатки ряда датчиков, предлагаемых к использованию на действующих газопроводах  
Table 2. Applications and drawbacks of some sensors offered for active gas lines

Наименование прибора Device description	Область применения Application	Недостатки Drawbacks
Индикатор скорости коррозии ДК-1Ц (ТУ 4834-001-45872246-2011) Corrosion rate sensor DK-1Ts (Technical Specifications 4834-001-45872246-2011)	Дистанционное измерение скорости коррозии в дефектах изоляционных покрытий подземных трубопроводов, проложенных в грунтах, для определения эффективности электрохимзащиты и определения направления и величин блуждающих токов Remote corrosion rate measurement in fault coatings of buried pipelines laid in soils to assess electrochemical protection efficiency and identify directions and values of stray currents	Не позволяет оценивать коррозионную агрессивность грунтов непосредственно в полевых условиях Fails to assess corrosion activity of soils immediately in field conditions
Датчик скорости коррозии ДСК-1 (ТУ 4311-017-22136119-2005) Corrosion rate sensor DSK-1 (Technical Specifications 4311-017-22136119-2005)	Для определения коррозионной активности среды Designed to assess environment corrosion activity	Датчик является изделием однократного применения и после использования не подлежит восстановлению и ремонту. При установке следует руководствоваться [6]. Датчик в картонной таре допускается транспортировать только в крытом транспорте или в контейнерах. Срок сохранности не превышает 3 лет The sensor is a product of a single application which can not be subject to renewal and repair after its use. One should use [6] in the process of installation. The Sensor carton packed is allowed for transportation exclusively in roofed vehicles or containers. Storage length do not exceed 3 years

бренных в дождливый период, будут отличаться от результатов, полученных при исследовании образцов проб, отобранных в засушливый период.

Поэтому перед началом проведения электрохимических измерений грунты для приготовления суспензий высушивали при комнатной температу-

ре, измельчали в ступке и, поместив в специальные сосуды, заливали дистиллированной водой. На 1000 г грунта приходилось 1000 г воды. Измерения



в рамках Международной специализированной выставки «МЕТАЛЛОБРАБОТКА-2019»

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



# Индустриальные масла и СОЖ России и СНГ

в металлургии, металлообработке и машиностроении

# 2019

www.rpi-conferences.com



ОРГАНИЗАТОР



РОСНЕФТЬ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

28 мая 2019 г.  
Москва, ЦЕЛК «Экспоцентр»

29 мая 2019 г.  
Москва, отель «Novotel Москва Сити»

При поддержке:



ЭКСПОЦЕНТР



СТАНБАИНСТРУМЕНТ



Современные технологии СОЖ для промышленности



Новые индустриальные масла для промышленного оборудования



Новые смазочно-охлаждающие жидкости



Q&A – вопросы потребителей



Гала-ужин в «Novotel Москва Сити»

на правах рекламы



+7 (495) 502 54 33; +7 (495) 778 93 32



Konstantinova.Elena@rpi-inc.ru



www.rpi-conferences.com

Таблица 3. Химический состав металла труб (сталь 19Г, % масс.)  
Table 3. Chemical composition of pipe metal (steel 19G, % weight)

ГОСТ 5058-57 [11] State Standard (GOST) 5058-57 [11]										
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	V	Ti
0,16–0,22	0,17–0,37	0,8–1,5	0,035	0,04	0,30	0,30	–	0,30	–	–

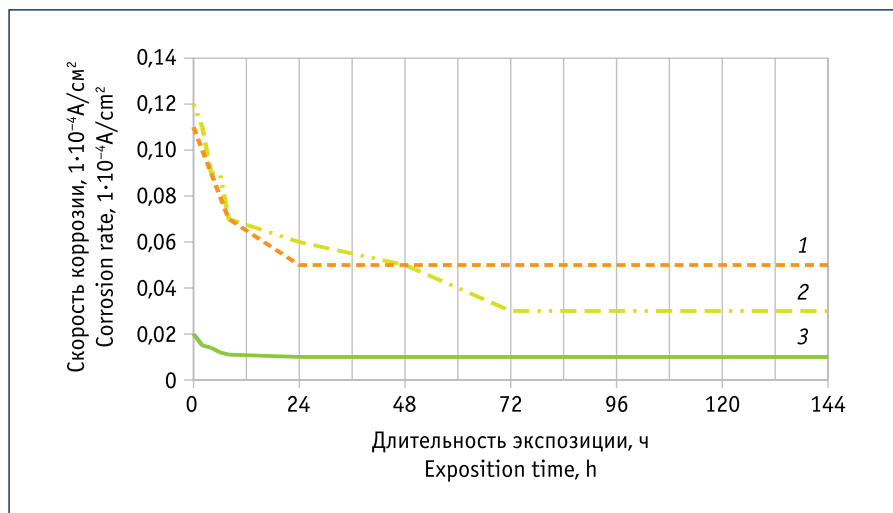


Рис. 2. Скорость общей коррозии трубной стали в суспензиях грунтов, отобранных с мест разрушения магистральных газопроводов:

1 – Ярославская обл.; 2 – Тамбовская обл.; 3 – 3 % NaCl

Fig. 2. General corrosion rate of tube steel in soil suspensions sampled in the areas of gas main failure:

1 – the Yaroslavl Region; 2 – the Tambov Region; 3 – 3 % NaCl

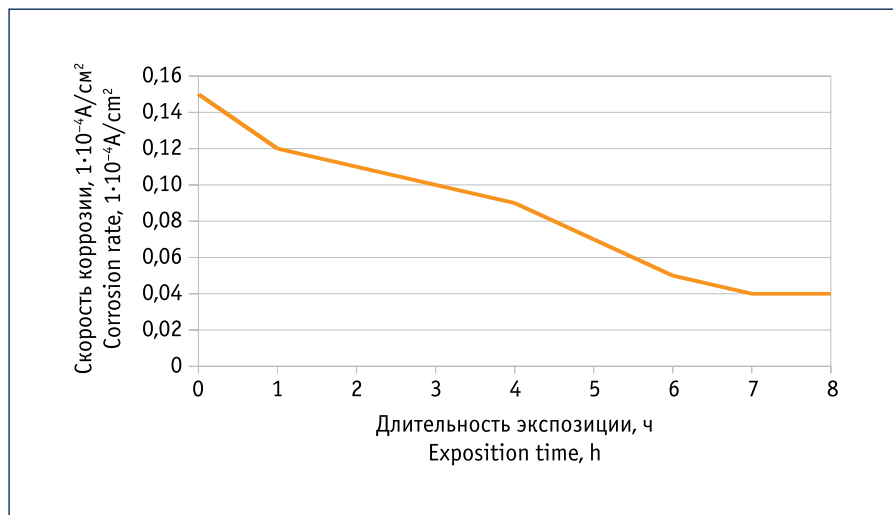


Рис. 3. Скорость общей коррозии трубной стали в грунте

Fig. 3. General corrosion rate of buried tube steel

проводили через 72 ч после приготовления проб. Объем электрохимической ячейки для проведения измерений был равен 8 дм<sup>3</sup>.

На рис. 2 представлены результаты измерений, выполненных при комнатной

температуре. Величина водородного показателя сред (рН) составляла 6,2–6,7. Значение шкалы тока переводились в единицы скорости коррозии:

- $1 \cdot 10^{-4} \text{ A/cm}^2 = 1,0 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ ;
- $1 \cdot 10^{-4} \text{ A/cm}^2 = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ мм/год}$ .



Рис. 4. Датчик скорости коррозии после проведения испытаний в полевых условиях  
Fig. 4. A corrosion rate sensor after the field tests

## ИЗМЕРЕНИЯ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Интервал измерения скорости коррозии определялся топографией местности, характером растительности и типом грунтов. Если указанные условия близки, можно проводить измерения через 100–1000 м. В районах, где наблюдались разрушения газопроводов по причине общей коррозии труб, измерения рекомендуется проводить на расстоянии 1 и 5 м от оси трубопровода. Места дополнительных измерений определяются в зависимости от топографии района прохождения трассы.

На рис. 3 представлены результаты измерения скорости коррозии труб газопровода, расположенного на территории одной из центральных областей РФ. Газопровод в месте проведения испытаний был защищен с помощью битумно-резиновой изоляции нормального типа толщиной 4–5 мм. Трубы диаметром 820 x 9,0 мм изготовлены Челябинским трубопрокатным заводом по ЧМТУ-335-60. Сталь феррито-перлитного класса марки 19Г. Поставщик металла – Череповецкий завод. Химический состав стали представлен в табл. 3.

Район, в котором проводились измерения, представлял собой равнину с абсолютными высотами 140–180 м,

пересеченную речными долинами, часто заболоченными.

Грунт – суглинок полутвердый, тугопластичный.

Величина водородного показателя (рН) – 6,4. Температура воздуха 18 °С. Подъем уровня вод на 1–2 м в данном районе в апреле связан с таянием снегов. Снежный покров устанавливается во второй половине ноября, высота снежного покрова к концу сезона достигает 50 см.

Перед проведением измерений поверхность стального электрода зачищали наждачной бумагой с зерном 125–100 мкм.

Длительность измерения величины коррозионного тока составляла 8 ч.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что скорость общей коррозии стали в исследованном грунте невелика, что подтверждается результатами осмотра поверхности газопроводных труб, находившихся в эксплуатации более 30 лет. Необходимо отметить, что на данном участке ремонтные работы по замене труб и защитного покрытия не проводились. Датчик коррозии (рис. 4) находился на глубине 1,5 м и расстоянии 2,5 м от оси газопровода.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование датчика, предлагаемого для проведения измерения скорости коррозии в грунте, позволило устано-

вить, что в грунтах, в которых происходит процесс образования коррозионных трещин на поверхности труб, скорость общей коррозии незначительна и не превышает 0,02–0,03 мм/год, что согласуется с результатами осмотра поверхности газопровода в местах повреждения защитного изоляционного покрытия.

В то же время датчик может быть использован для измерения скорости коррозии подземного оборудования из углеродистых и низколегированных сталей и позволяет оценивать коррозионную агрессивность грунтов, что может представлять практический интерес при проведении изыскательских и проектных работ.

### Литература:

1. Альбом аварийных разрушений на объектах газопроводов ООО «Севергазпром» 1982–2002 гг. Ухта, 2002. 338 с.
2. Алексеев А.А., Большаков А.М., Сыроматникова А.С. Исследование коррозии газопровода в условиях Арктики // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2018. № 11. С. 58–61.
3. Романов В.В. Методы исследования коррозии металлов. М.: Metallurgiya, 1965. 281 с.
4. Morison W.D., Cherpillod T., Al-Taie I., Mutairi S. Solving Common Corrosion Problems with Non-Intrusive Fiber Optic Corrosion Monitoring Sensors // Proceedings of the 11th Middle East Corrosion Conference & Exhibition. Bahrain, 2006.
5. Tennyson R.C., Morison W.D., Miesner T. Pipeline Integrity Assessment Using Fiber Optic Sensors // Proceeding of the Pipeline Division Specialty Conference. 2005. P. 803–817.
6. ПБ 12-609-03. Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные газы [Электронный источник]. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4653\\_snip\\_105734.html](http://snipov.net/c_4653_snip_105734.html) (дата обращения: 20.03.2019).
7. РД 153-39.4-091-01. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200030108> (дата обращения: 20.03.2019).
8. Датчик скорости коррозии: пат. 2085906 РФ; МПК G01N17/04 / С.А. Лубенский, Н.А. Петров; заявитель и патентообладатель ООО «Газпром ВНИИГАЗ»; заявл. 13.02.1995; опубл. 27.06.1997, Бюл. № 21, Ч. 2. С. 360.
9. Лубенский С.А. Анализ основных причин разрушения магистральных газопроводов большого диаметра в Северо-Западном регионе России // Проблемы анализа риска. 2011. Т. 8. № 5. С. 66–75.
10. ГОСТ 12071-84. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901700284> (дата обращения: 20.03.2019).

### References:

1. Book of Destructive Accidents at the Gas Pipeline Facilities of Severgazprom LLC, 1982–2002. Ukhta, 2002, 338 p. (In Russian)
2. Alexeev A.A., Bolshakov A.M., Syromatnikova A.S. Research of Corrosion of a Gas Pipeline under Arctic Conditions. Territorija "NEFTEGAS" = Oil and Gas Territory, 2018, No. 11, P. 58–61. (In Russian)
3. Romanov V.V. Metal Corrosion Investigation Methods. Moscow, Metallurgiya [Metallurgy], 1965, 281 p. (In Russian)
4. Morison W.D., Cherpillod T., Al-Taie I., Mutairi S. Solving Common Corrosion Problems with Non-Intrusive Fiber Optic Corrosion Monitoring Sensors. In: Proceedings of the 11th Middle East Corrosion Conference & Exhibition. Bahrain, 2006.
5. Tennyson R.C., Morison W.D., Miesner T. Pipeline Integrity Assessment Using Fiber Optic Sensors. In: Proceeding of the Pipeline Division Specialty Conference. 2005. P. 803–817.
6. Safety Regulations (SR) 12-609-03. Safety Regulations for Facilities Using Liquefied Hydrocarbon Gasses [Electronic source]. Access mode: [http://snipov.net/c\\_4653\\_snip\\_105734.html](http://snipov.net/c_4653_snip_105734.html) (access date – March 20, 2019). (In Russian)
7. Guiding Document (RD) 153-39.4-091-01. Instructions on Corrosion Protection of Urban Buried Pipelines [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200030108> (access date – March 20, 2019). (In Russian)
8. Corrosion Rate Sensor: patent 2085906 RF; MPC G01N17/04. Authors – S.A. Lubensky, N.A. Petrov; applicant and patent holder Gazprom VNIIGAZ LLC; No. 95102277; appl. On February 13, 1995; publ. on June 27, 1997, Bul. No. 21, Vol. 2, P. 360. (In Russian)
9. Loubensky S.A. Analysis of Main Causes of Failure of Large Diameter Gas Pipelines in Northwest Russia. Problemy analiza riska = Issues of Risk Analysis, 2011, Vol. 8, No. 5, P. 66–75. (In Russian)
10. State Standard of the USSR (GOST) 12071-84. Soils. Sampling, Packing, Transportation and Keeping of Samples [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/901700284> (access date – March 20, 2019). (In Russian)
11. State Standard (GOST) 5058-57. Engineering Low-Alloy Steel. Grades and General Specifications [Electronic source]. Access mode: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293781/4293781733.htm> (access date – March 20, 2019). (In Russian)