

УДК 620.193.2; 620.193.92

МРНТИ 73.39.97

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2023-20-1-21-29>

Дидух А.Г., Абдухалыков Д.Б.,* Омирбеков С.Н., Имашев Б.А., Атымтаева Б.К.

Филиал «Центр исследований и разработок АО «Казтрансойл» 050000, г.Алматы, Казахстан

*E-mail: d.abdukhalikov@kaztransoil.kz

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ ТРУБНОЙ СТАЛИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. В статье представлено описание модельной лабораторной установки для проведения исследований гидродинамических параметров, испытаний гелевых поршней, присадок и ингибиторов, исследований внешней и внутренней коррозии трубной стали, работы системы электрохимической защиты, состава и свойств грунта. Особенностью установки является ее многозадачность с широким спектром одновременных и отдельных исследований с моделированием технологии трубопроводного транспорта. Степень влияния присадок на реологические параметры или ингибиторов коррозии, оценку внутренней коррозии проводят в испытываемой среде: нефти/нефтемеси/воде/нефтеводяной смеси. Исследования активности внешней коррозии на трубопровод проводят путем подбора параметров работы системы ЭХЗ и состояния, качества защитного покрытия на участке трубопровода, погруженного в грунт. При этом возможно применение грунтов с разнообразных участков трубопроводов с различной коррозионной активностью, а также изменение их физико-химических свойств – влажности, содержания солей. Представлены предварительные данные влияния влажности грунта на его удельное электрическое сопротивление и скорость коррозии металла, результаты которых коррелируют с полевыми исследованиями.

Дальнейшие исследования позволят воспроизводить условия, приближенные к реальным, при транспортировке нефти и воды с целью оценки и определения оптимальных режимов транспортировки и технологии защиты трубопроводов от коррозии для достижения оптимальных технико-экономических показателей для производства.

Ключевые слова: модельный лабораторный стенд, трубопровод, реология, ингибиторы, электрохимическая защита, грунт.

Дидух А.Г., Абдухалыков Д.Б.,* Омирбеков С.Н., Имашев Б.А., Атымтаева Б.К.

«Казтрансойл» АҚ зерттеулер мен әзірлемелер орталығы» филиалы 050000, Алматы қ., Қазақстан

*E-mail: d.abdukhalikov@kaztransoil.kz

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖАҒДАЙДА ҚҰБЫР БОЛАТЫНЫҢ СЫРТҚЫ ЖӘНЕ ІШКІ КОРРОЗИЯСЫНА ЗЕРТТЕУЛЕР ЖҮРГІЗУГЕ АРНАЛҒАН МОДЕЛЬДІК ҚОНДЫРҒЫ ЖАСАУ

Аннотация. Мақалада гидродинамикалық параметрлерді зерттеу, гель поршеньдерін, қоспалар мен ингибиторларды сынау, болат құбырдың сыртқы және ішкі коррозиясын зерттеу, электрохимиялық қорғаныс жүйесінің жұмысы, топырақтың құрамы мен қасиеттері үшін құбырдың зертханалық қондырғысының сипаттамасы берілген.

Қондырғының ерекшелігі оның құбыр тасымалдау технологиясын имитациялайтын кең ауқымды бір мезгілде және бөлек зерттеулер спектрімен көп мақсаттылығы болып табылады. Қосымдардың реологиялық параметрлерге немесе коррозия ингибиторларына әсер ету дәрежесі, ішкі коррозияны бағалау зерттелетін ортада – мұнай-мұнай-қоспасы-су-мұнай-су қоспасында жүргізіледі. Құбырдағы сыртқы коррозияның белсенділігін зерттеу ЭХҚ жүйесі жұмысының параметрлерін және жерге бағырылған құбыр учаскесіндегі қорғаныс жабынының күйі мен сапасын таңдау арқылы жүзеге асырылады. Бұл жағдайда әртүрлі коррозиялық белсенділігі бар

құбырлардың түрлі учаскелеріндегі топырақты қолдану, сондай-ақ олардың физикалық-химиялық қасиеттерін, ылғалдылығын, тұздылығын өзгертуге болады. Топырақ ылғалдылығының оның электрлік кедергісіне және металдың коррозиясының жылдамдығына әсері туралы алдын ала деректер келтірілген, олардың нәтижелері далалық зерттеулермен сәйкес келеді.

Одан әрі зерттеулер өндірістің оңтайлы техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне қол жеткізу мақсатында тасымалдаудың оңтайлы режимдерін және құбырларды коррозиядан қорғау технологияларын бағалау және анықтау мақсатында мұнай мен суды тасымалдау кезінде нақты жағдайға жақындатылған жағдайларды келтіруге мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: модельді зертханалық стенд, құбыр, реология, ингибиторлар, электрохимиялық қорғаныс құралдары, топырақ.

Didukh A.G., Abdukhaly`kov D.B.,* Omirbekov S.N., Imashev B.A., Aty`mtaeva B.K.

Branch "Research and development centre "Kaztransoil" JSC 050000, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: d.abdukhalykov@kaztransoil.kz

CREATION OF A MODEL INSTALLATION FOR CONDUCTING STUDIES OF EXTERNAL AND INTERNAL CORROSION OF PIPE STEEL IN LABORATORY CONDITIONS

Abstract. The article describes a model laboratory installation for conducting studies of hydrodynamic parameters, testing of gel pistons, additives and inhibitors, studies of external and internal corrosion of pipe steel, operation of the electrochemical protection (ECP) system, soil composition and properties. A feature of the installation is its multitasking with a wide range of simultaneous and separate studies, simulating the technology of pipeline transport. The degree of influence of additives on rheological parameters or corrosion inhibitors, the assessment of internal corrosion is carried out in the test medium - oil / oil mixture / water / oil-water mixture. Studies of the activity of external corrosion on the pipeline are carried out by selecting the parameters of the ECP system and the state and quality of the protective coating on the pipeline section immersed in the ground. In this case, it is possible to use soils from various sections of pipelines with different corrosive activity, as well as changes in their physical and chemical properties - humidity, salt content. Preliminary data on the influence of soil moisture on its electrical resistivity and metal corrosion rate are presented, the results of which correlate with field studies.

Further research will make it possible to reproduce conditions close to real during the transportation of oil and water in order to assess and determine the optimal modes of transportation and technologies for protecting pipelines from corrosion in order to achieve optimal technical and economic indicators for production.

Key words: model laboratory installation, pipeline, rheology, inhibitors, electrochemical protection, soil

Введение. Транспортирование жидких и газообразных сред посредством трубопроводов является одной из объемных и надежных путей доставки. В природе металлические конструкции подвергаются коррозионным процессам, и трубопроводы не являются исключением. В нашей работе рассмотрим воздействие внешней коррозии на подземные трубопроводы. Так, в статье [1] представлен обзор механизмов коррозии и разрушения подземных газопроводов и нефтепроводов, таких как водородное растрескивание (НІС), водородное охрупчивание (НЕ), коррозионная усталость (СF), коррозионное растрескивание под напряжением (SCC) и микробиологическая коррозия (MІC). Также подробно рассмотрены и проанализированы факторы, влияющие на внешнюю коррозию, и возможные формы растрескивания трубных сталей в грунте под действием окружающей среды (EAC).

В работе [2] представлены факторы развития внешней коррозии, которыми являются атмосферные осадки, температура, топография, распределение влаги, размер частицы грунта, классификация почвы, насыщенность влаги, удельное сопротивление, рН и химический состав компонентов грунтов (хлориды, сульфаты, бикарбонаты). Влажность является многомасштабным параметром и используется для характеристики, количественного определения и моделирования процессов коррозии. Далее подземный трубопровод рассматривается как электрохимическая система ввиду того, что в полевых условиях образуются элементы электрохимической ячейки с анодами и катодами, распределенными по поверхности металлического трубопровода. Почва обеспечивает ионную проводящую среду для катионов и анионов, а металлическая непрерывность создает короткий путь между анодами и катодами, что приводит к разности потенциалов внутри металлической конструкции, погруженной в грунт. Катодные агенты в основном состоят из кислорода, растворенного в воде (электролит) или влажном

грунте. Исследования движения воды и растворенных веществ в грунте и транспорта кислорода сквозь грунт рассмотрены в [3].

Результаты исследований авторов [4] показывают, что коррозия стали зависит от толщины слоя грунта, при этом максимальная скорость коррозии регистрируется под слоем грунта толщиной 5 мм за счет конкурентного влияния блокирующего действия слоя грунта и его влагоудерживающей способности на коррозию. Так, коррозия ускоряется с увеличением толщины грунта из-за возрастания количества воды. При дальнейшем увеличении мощности грунтового слоя начинает преобладать блокирующее влияние грунта на диффузию коррозионно-активных веществ.

Основная часть. С целью выявления закономерностей развития коррозионных процессов на магистральных трубопроводах, а также разработки в дальнейшем научно обоснованных технических решений по совершенствованию мер предупреждения развития коррозии, основанных на эффективном регулировании средств противокоррозионной защиты (изоляция, система электрохимзащита - ЭХЗ, ингибиторы и т.д.), разработана и изготовлена лабораторная установка для моделирования технологий трубопроводного транспорта (рисунок 1).

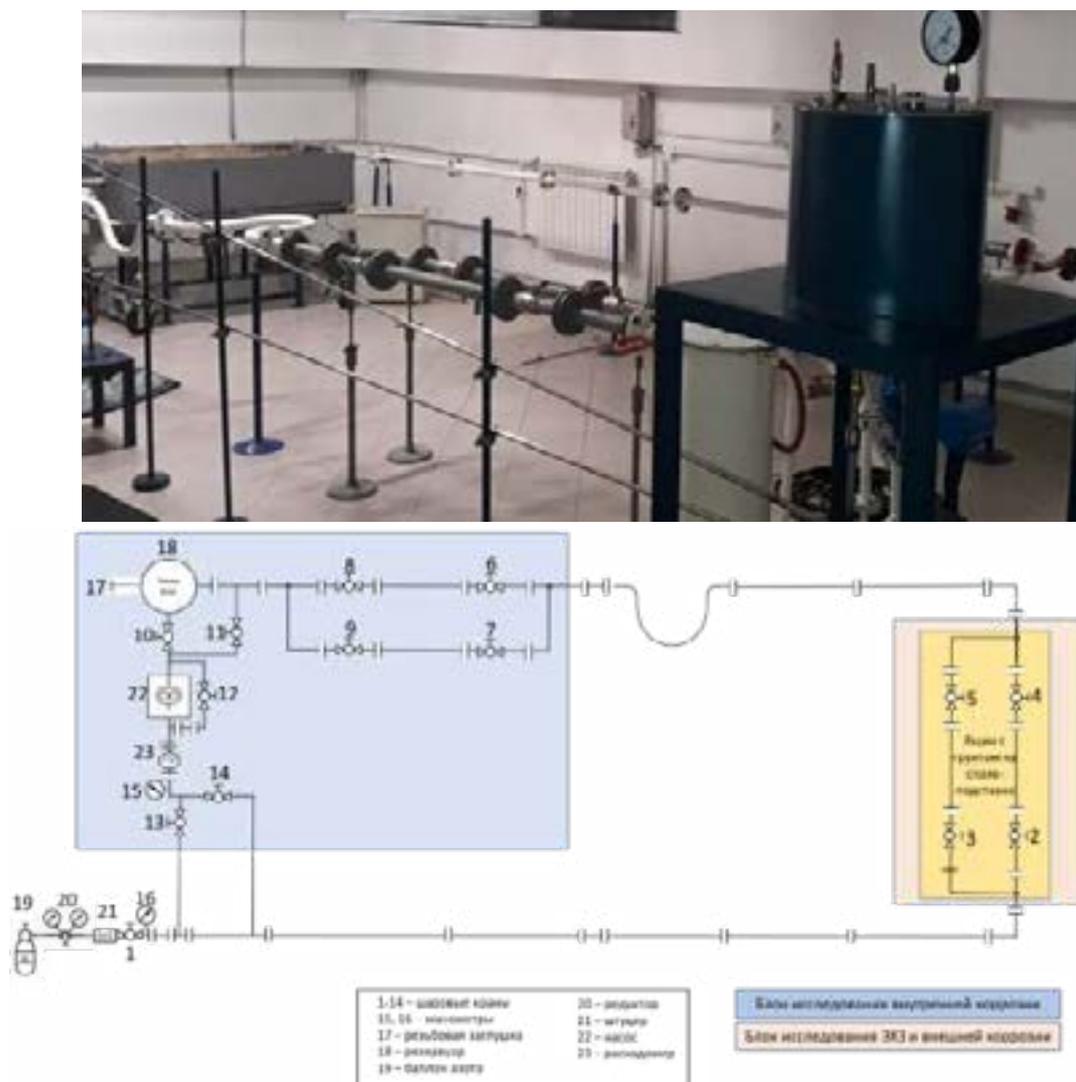


Рисунок 1 – Внешний вид и принципиальная схема лабораторной установки для моделирования технологий трубопроводного транспорта

Данная установка состоит из нескольких блоков и предназначена для моделирования технологий и процессов трубопроводного транспорта и исследований процессов внутренней и внешней коррозии, гидродинамических испытаний (противотурбулентные присадки), исследований технологий физико-химического воздействия на нефть (режимы транспортировки, депрессорные присадки, гелевые поршни).

Задачей установки является наработка оптимальных технологических параметров при:

- испытании режимов транспортировки нефти/воды;
- испытании присадок в нефти, предназначены для исследования влияния различных депрессорных присадок на реологические параметры транспортируемой нефти/нефтесмеси;
- оценке эффективности противотурбулентных присадок на гидродинамической установке;
- испытании и исследовании свойств гелевых поршней при имитации функции работы трубопровода.
- коррозионных исследованиях внутренней коррозии путем экспозиции образцов-свидетелей (гравиметрический метод) и для проведения измерений скорости коррозии при определении агрессивности перекачиваемых рабочих сред по величине сопротивления датчиков коррозии (электрохимический метод). С целью определения интенсификации внутренней коррозии и определения эффективности применяемых мер (ингибиторы коррозии) по защите от коррозии трубопровода;
- коррозионных исследованиях внешней коррозии в зависимости от свойств, состояния, наличия грунтов, изоляционных покрытий трубопровода, электродов сравнения, блуждающих токов при различных параметрах работы блока электрохимзащиты и подборе оптимальных параметров ЭХЗ. С целью оптимизации мер по защите нефтепроводов/водоводов от коррозии;
- проведении опытно-промышленных испытаний реагентов (ингибиторы парафиноотложения, депрессорные/реологические присадки, противотурбулентные присадки, ингибиторы коррозии) или технологий, используемых в трубопроводном транспорте нефти/воды с последующей рекомендацией о возможности их применения в промышленных условиях.

Далее рассмотрены в качестве противокоррозионных мер защиты от внешней коррозии блок электрохимзащиты и исследование грунта.

Блок электрохимзащиты предназначен для коррозионных и электрометрических исследований, представляет собой модель системы катодной защиты трубопровода и состоит из станции катодной защиты (далее – СКЗ), анодного заземлителя (далее – АЗ) и защищаемой линейной части трубопровода. Для исследований внешней коррозии предусмотрен участок линейной части трубопровода с линией байпаса. Все фланцевые соединения на шаровых кранах 2-5 имеют изолирующие прокладки, изолирующие втулки и шайбы на болтовых соединениях фланцев для возможности проведения исследований катодной защиты на отдельных участках. Установлена регулируемая подставка для поддержки емкости с грунтом, в который помещается участок трубы с байпасом. Смену грунта производят механическим путем. В случае необходимости путем вращения механизма на подставке снижают емкость с грунтом ниже уровня линейной части трубопровода. Трубопровод имеет фланцевое соединение для отсечения защитных токов от основного трубопровода, а также для исследования эффективности работы диэлектрических прокладок, втулок и шайб при электрохимической защите трубопроводов. Напряжение в СКЗ подбирается в зависимости от величины плотности тока, которая соответственно коррелирует со значениями переходного сопротивления между трубой и электролитической средой, а также коррозионной активностью грунтов.

Материалы и методы

В соответствии с требованиями нормативных документов [5, 6] условия экспериментов подобраны таким образом, чтобы приблизиться к реальным производственным условиям эксплуатации. В исследованиях применяли образцы-свидетели, изготовленные из металла трубопровода, а также поверенное оборудование.

Как видно из рисунка 2, для экспериментов подготовлена электрохимическая ячейка, заполненная средой (грунтом), а также электрод сравнения и коррозиметр (Монитор, Эксперт) для снятия показаний скорости коррозии. В грунте находится изолированный (Поликеном) трубопровод, образцы-свидетели, анодные заземлители (в нашем случае металлические стержни), разность потенциалов создается с помощью источника постоянного тока или СКЗ.

В исследованиях магистральных трубопроводов для определения удельного электрического сопротивления грунта (УЭСГ) производилось шурфование и отбор проб на глубине прокладки трубопровода с интервалами от 50 до 200 мм и на расстоянии от 0,5 до 0,7 м от боковой стенки трубы.



Рисунок 2 – Общий вид блока ЭХЗ модельной установки

«При исследовании применяли следующие средства контроля и вспомогательные устройства:

- источник постоянного тока;
- миллиамперметр класса точности не ниже 1,5 с диапазонами 200 или 500 мА;
- вольтметр с входным сопротивлением не менее 1 Мом;
- модельный стенд с принципиальной эл. схемой (рисунок 3а).
- электроды внешние (А, В) размером 44×40 мм (40 мм - высота электрода) в виде прямоугольных пластин (из стали) с ножкой, к которым крепились проводники-токоподводы, при этом одна сторона каждой пластины ячейки изолировалась;
- электроды внутренние (М, N) из медной проволоки диаметром от 1 до 3 мм и длиной на 10 мм больше высоты ячейки;
- шкурка шлифовальная;
- вода дистиллированная;
- ацетон» [5].

Отобранную пробу песчаных грунтов увлажняли до полного влагонасыщения, а глинистых – до достижения мягкопластичного состояния. Затем поверхность электродов чистили абразивным материалом, обезжиривали и промывали дистиллированной водой. Установку внешних и внутренних электродов проводили, как показано на рисунке 3. УЭСГ измеряется по четырехэлектродной схеме (рисунок 3 б, в). Внешние электроды с поверхностью S_p м² поляризовали током I_1 и измеряли падение напряжения V_1 между двумя внутренними электродами при расстоянии I_{MN} между ними. Электрическое сопротивление грунта $R_{гп}$, Ом, определяли по формуле (1)

$$R_{гп} = \frac{V_1}{I_1} \quad (1)$$

где V_1 - падение напряжения между двумя внутренними электродами, В; I_1 - сила тока в ячейке, А.

ρ , Ом·м - УЭСГ высчитывают по формуле

$$\rho = \frac{R_{гп} \times S_p}{R_{MN}} \quad (2)$$

где R_{MN} – расстояние между внутренними электродами, м.

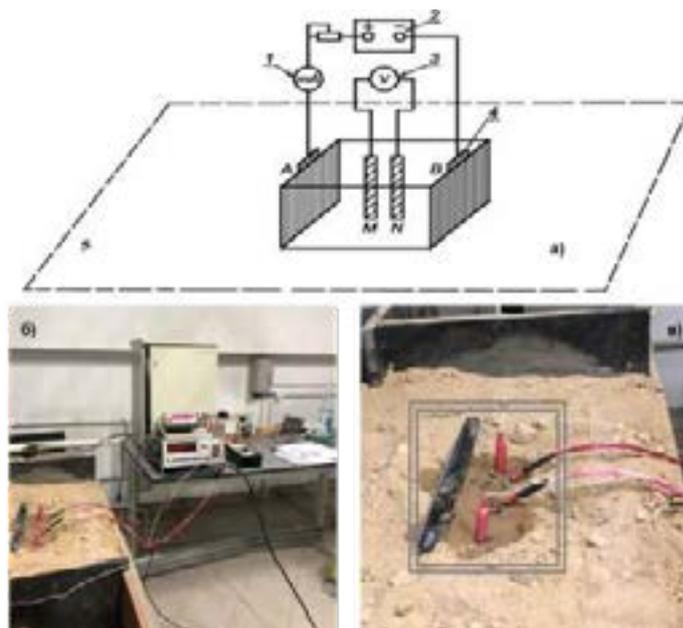


Рисунок 3 – Схематический и общий вид установки для определения УЭСГ в лабораторных условиях

Результаты и обсуждение

Изменение скорости коррозии трубной стали и удельного сопротивления грунта в зависимости от его влажности представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость скорости коррозии металла (17Г1С) от степени влажности грунта

№ п/п	Влажность грунта, %	Скорость коррозии металла, мм/год		Удельное сопротивление грунта, Ом·м
		Грунт* + Раствор 3% NaCl + 3% Na ₂ SO ₄	Грунт *	Грунт *
1	15,2	0,908	0,076	0,78
2	9,1	0,651	0,025	
3	4,2	0,509	0,010	
4	1,02	0,292	0,03	
5	0,86	0,208	0,01	3341,3

* – 1. Электропроводность – 856,4 мс/см
 2. рН – 7,11
 3. Сульфаты – 3,26 ммоль на 100 г почвы = 0,16 %
 4. Хлориды – 6,5 ммоль на 100 г почвы = 0,23 %
 5. Бикарбонаты: – 0,4 ммоль на 100 г почвы = 0,024 %

Для определения скорости коррозии металла в грунте в лабораторных условиях имитировали две коррозионные среды: одна без добавления солей, вторая с добавлением 3% NaCl и 3% Na₂SO₄. В обоих случаях влажность грунта довели до 0,86% и до 15,2%. Как видно из таблицы 1, скорость коррозии металла увеличивается с повышением влажности грунта. При влажности грунта 15,2% наибольшие значения скорости коррозии (0,908 мм/год) наблюдаются в среде, где добавлен солевой раствор.

Заключение. Представленные результаты коррелируют с результатами полевых исследований и физико-химических анализов грунтов, отобранных в шурфах на МН, свидетельствуют о том, что большое содержание основных коррозионных компонентов (таких как хлорид и сульфат-ионов) в почве в совокупности с высокими значениями влажности приводит к увеличению скорости коррозии металла. Данные результаты показывают применимость лабораторной установки для моделирования технологий трубопроводного транспорта для выявления закономерностей развития коррозионных процессов на магистральных трубопроводах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Muhammad Wasima, Milos B. Djukic. External corrosion of oil and gas pipelines: A review of failure mechanisms and predictive preventions // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. Volume 100. April 2022. 104467.
- 2 Changkyu Kima, Lin Chena, Hui Wang, Homero Castaneda. Global and local parameters for characterizing and modeling external corrosion in underground coated steel pipelines: A review of critical factors // *Journal of Pipeline Science and Engineering journal*. Volume 1. Issue 1. March 2021. P. 17–35.
- 3 Cole I.S., Marney D. The science of pipe corrosion: A review of the literature on the corrosion of ferrous metals in soils // *Corrosion Science*. Volume 56. March 2012. P. 5–16.
- 4 Hongwei Liu, Yuning Dai, Y. Frank Cheng. Corrosion of underground pipelines in clay soil with varied soil layer thicknesses and aerations // *Arabian Journal of Chemistry*. Volume 13. Issue 2. February 2020. P. 3601–3614.
- 5 ГОСТ 9.602 – 2016. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
6. СТ. РК ГОСТ Р 51164-2005 (ГОСТ Р 51164-98, IDT). Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.

REFERENCES

- 1 Muhammad Wasima, Milos B. Djukic. External corrosion of oil and gas pipelines: A review of failure mechanisms and predictive preventions // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. Volume 100. April 2022. 104467.
- 2 Changkyu Kima, Lin Chena, Hui Wang, Homero Castaneda. Global and local parameters for characterizing and modeling external corrosion in underground coated steel pipelines: A review of critical factors // *Journal of Pipeline Science and Engineering journal*. Volume 1. Issue 1. March 2021. P. 17–35.
- 3 Cole I.S., Marney D. The science of pipe corrosion: A review of the literature on the corrosion of ferrous metals in soils // *Corrosion Science*. Volume 56. March 2012. P. 5–16.
- 4 Hongwei Liu, Yuning Dai, Y. Frank Cheng. Corrosion of underground pipelines in clay soil with varied soil layer thicknesses and aerations // *Arabian Journal of Chemistry*. Volume 13. Issue 2. February 2020. P. 3601–3614.
- 5 GOST 9.602 – 2016. Edinaja sistema zashhity ot korrozii i starenija. Sooruzhenija podzemnye. Obshhie trebovanija k zashhite ot korrozii.
6. ST. RK GOST R 51164-2005 (GOST R 51164-98, IDT). Truboprovody stal'nye magistral'nye. Obshhie trebovanija k zashhite ot korrozii.

Информация об авторах

Дидух Александр Геннадьевич

Кандидат химических наук, заместитель директора, филиал «Центр исследований и разработок АО «КазТрансОйл», ул. Жибек жолы, 154, 050000, г. Алматы, Казахстан
 ORCID ID: 0000-0002-7626-6580
 E-mail: a.didukh@kaztransoil.kz

Абдухалыков Дамир Бакытович (автор для корреспонденции)

Кандидат химических наук, руководитель лаборатории коррозии, филиал «Центр исследований и разработок АО «КазТрансОйл», ул. Жибек-жолы, 154, 050000, г. Алматы, Казахстан
 ORCID: 0000-0001-7023-947X
 E-mail: d.abdukhalykov@kaztransoil.kz

Омирбеков Султан Нуржакыпович

Научный сотрудник лаборатории физико-химических исследований, филиал «Центр исследований и разработок АО «КазТрансОйл», ул. Жибек-жолы, 154, 050000, г. Алматы, Казахстан
 ORCID ID: 0000-0002-8972-0092
 E-mail: s.omirbekov@kaztransoil.kz

Имашев Бауржан Аскарбекович

Научный сотрудник лаборатории коррозии, филиал «Центр исследований и разработок АО «КазТрансОйл», ул. Жибек-жолы, 154, 050000, г. Алматы, Казахстан
 ORCID ID: 0000-0003-3044-7586
 E-mail: bimashev@kaztransoil.kz

Атымтаева Бекзат Кенесарыевна

Техник-лаборант лаборатории физико-химических исследований, филиал «Центр исследований и разработок АО «КазТрансОйл», Жібек-жолы, 154, 050000, г. Алматы, Казахстан

ORCID ID: 0000-0001-8960-9047

E-mail: b.atymtaeva@kaztransoil.kz

Авторлар туралы мәліметтер

Дидух Александр

Химия ғылымдарының кандидаты, директордың орынбасары, «КазТрансОйл» АҚ зерттеулер мен әзірлемелер орталығы» филиалы, Жібек жолы көш., 154, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0002-7626-6580

E-mail: a.didukh@kaztransoil.kz

Абдухалыков Дамир (корреспонденция авторы)

Химия ғылымдарының кандидаты, тоттану зертханасының басшысы, «КазТрансОйл» АҚ зерттеулер мен әзірлемелер орталығы» филиалы, Жібек жолы көш., 154, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0001-7023-947X

E-mail: d.abdukhalykov@kaztransoil.kz

Өмірбеков Сұлтан

Физика-химиялық зерттеулер зертханасының ғылыми қызметкері, «КазТрансОйл» АҚ зерттеулер мен әзірлемелер орталығы» филиалы, Жібек жолы көш., 154, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0002-8972-0092

E-mail: s.omirbekov@kaztransoil.kz

Имашев Бауржан

Тоттану зертханасының ғылыми қызметкері, «КазТрансОйл» АҚ зерттеулер мен әзірлемелер орталығы» филиалы, Жібек жолы көш., 154, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0003-3044-7586

E-mail: bimashev@kaztransoil.kz

Атымтаева Бекзат

Физика-химиялық зерттеулер зертханасының техник-зертханашысы, «КазТрансОйл» АҚ зерттеулер мен әзірлемелер орталығы» филиалы, Жібек жолы көш., 154, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0001-8960-9047

E-mail: b.atymtaeva@kaztransoil.kz

Information about authors

Didukh Aleksandr

Ph.D., Deputy Director, Branch “Research and Development Center of JSC “KazTransOil”, Zhibek-zholy, 154, 050000, Almaty, Kazakhstan

E-mail: a.didukh@kaztransoil.kz

ORCID ID: 0000-0002-7626-6580

Abdukhalykov Damir (corresponding author)

Ph.D., Head of the Laboratory of Corrosion, Branch “Research and Development Center of KazTransOil JSC”, 050000, Almaty, Kazakhstan

E-mail: d.abdukhalykov@kaztransoil.kz

ORCID ID: 0000-0001-7023-947X

Omirbekov Sultan

Research Fellow of the Laboratory of Physical and Chemical Research, Branch “Research and Development Center of KazTransOil JSC”, Zhibek-zholy, 154, 050000, Almaty, Kazakhstan

E-mail: s.omirbekov@kaztransoil.kz

ORCID ID: 0000-0002-8972-0092

Imashev Baurzhan

Research Fellow of the Laboratory of Corrosion, Branch “Research and Development Center of KazTransOil JSC”, Zhibek-zholy, 154, 050000, Almaty, Kazakhstan

E-mail: bimashev@kaztransoil.kz

ORCID ID: 0000-0003-3044-7586

Atymtayeva Bekzat

Laboratory Technician of the Laboratory of Physical and Chemical Research, Branch “Research and Development Center of KazTransOil JSC”, Zhibek-zholy, 154, 050000, Almaty, Kazakhstan

E-mail: b.atymtaeva@kaztransoil.kz

ORCID ID: 0000-0001-8960-9047