

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2798304

### СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВЕРЖЕННОСТИ УЧАСТКОВ ПОДЗЕМНЫХ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СТРЕСС-КОРРОЗИИ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Болобов Виктор Иванович (RU), Латипов Ильнур Ульфатович (RU), Попов Григорий Геннадьевич (RU), Жуков Валентин Сергеевич (RU)*

Заявка № 2022134257

Приоритет изобретения **26 декабря 2022 г.**

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации **21 июня 2023 г.**

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает **26 декабря 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G01N 17/04* (2023.02); *F16L 58/00* (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2022134257, 26.12.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.12.2022

Дата регистрации:  
21.06.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.12.2022

(45) Опубликовано: 21.06.2023 Бюл. № 18

Адрес для переписки:  
190106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный  
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Болобов Виктор Иванович (RU),  
Латипов Ильнур Ульфатович (RU),  
Попов Григорий Геннадьевич (RU),  
Жуков Валентин Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2222000 C2, 20.01.2004. RU  
2515174 C1, 10.05.2014. SU 1272161 A1, 23.11.1986.  
RU 2611699 C1, 28.02.2017. RU 2299420 C2,  
20.05.2007.

## (54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВЕРЖЕННОСТИ УЧАСТКОВ ПОДЗЕМНЫХ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СТРЕСС-КОРРОЗИИ

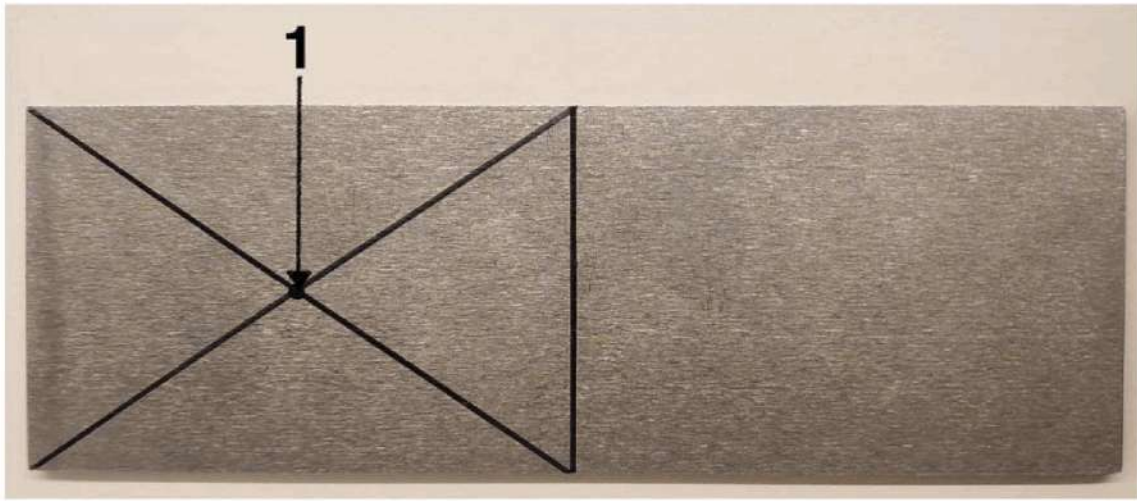
(57) Реферат:

Изобретение относится к испытательной технике и может быть использовано для определения участков стальных подземных трубопроводов с нарушенной изоляцией, подверженных стресс-коррозии. Замер сигнала сканера механических напряжений, величина которого коррелирует с величиной механических напряжений в стенке трубопровода и, как следствие, с содержанием в ее металле водорода, с труб двух рядом лежащих участков подземного

трубопровода с нарушенной и ненарушенной изоляцией и сравнение его величины, с учетом результатов лабораторных тарировочных испытаний пластин из материала трубопровода при их наводороживании и измерении сигнала тем же датчиком, дает возможность определить содержание водорода в металле трубопровода на участке с нарушенной изоляцией и разработать заключение о его подверженности стресс-коррозии и необходимости замены. 7 ил., 1 табл.

RU  
2 7 9 8 3 0 4  
C 1

RU  
2 7 9 8 3 0 4  
C 1



Фиг. 1

RU 2798304 C1

RU 2798304 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*G01N 17/04* (2006.01)  
*F16L 58/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01N 17/04 (2023.02); F16L 58/00 (2023.02)*

(21)(22) Application: **2022134257, 26.12.2022**

(24) Effective date for property rights:  
**26.12.2022**

Registration date:  
**21.06.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **26.12.2022**

(45) Date of publication: **21.06.2023** Bull. № 18

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU  
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet",  
Patentno-litsenziionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Bolobov Viktor Ivanovich (RU),  
Latipov Ilnur Ulfatovich (RU),  
Popov Grigorii Gennadevich (RU),  
Zhukov Valentin Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi  
universitet» (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINING SECTIONS OF UNDERGROUND STEEL PIPELINES SUBJECT TO STRESS CORROSION**

(57) Abstract:

FIELD: test equipment.

SUBSTANCE: invention can be used to determine sections of steel underground pipelines with broken insulation subject to stress corrosion. Measurement of the signal of the mechanical stress scanner, the value of which correlates with the value of mechanical stresses in the pipeline wall and, as a result, with the content of hydrogen in its metal, from pipes of two adjacent sections of an underground pipeline with broken and unbroken insulation and a comparison of

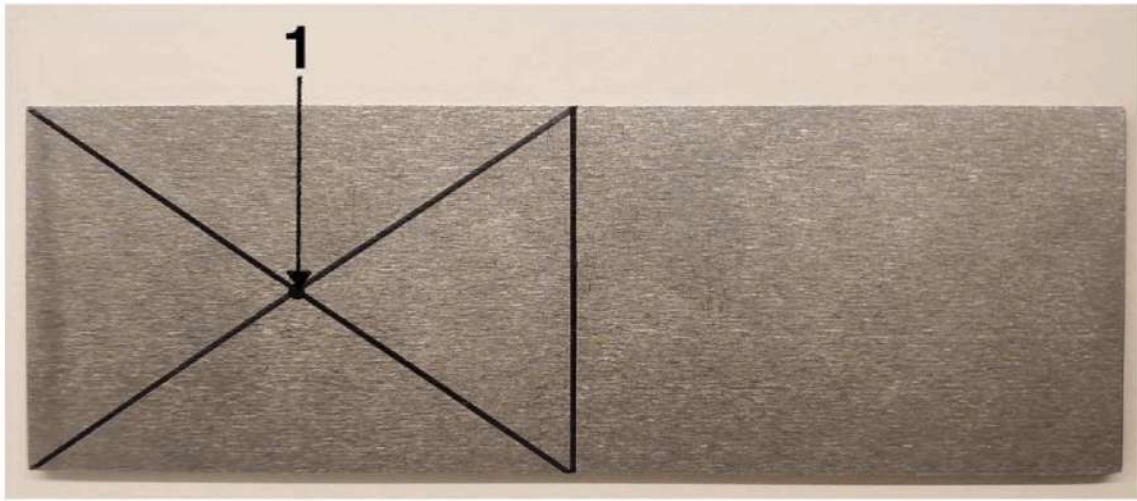
its value, taking into account the results of laboratory calibration tests of plates made of pipeline material during their hydrogenation and signal measurement by the same sensor, makes it possible to determine the hydrogen content in the pipeline metal in the area with broken insulation and make a conclusion on its susceptibility to stress corrosion and the need for replacement.

EFFECT: detection of broken insulation.

1 cl, 7 dwg, 1 tbl

**RU 2 798 304 C1**

**RU 2 798 304 C1**



Фиг. 1

RU 2798304 C1

RU 2798304 C1

Изобретение относится к испытательной технике и может быть использовано для определения участков стальных подземных трубопроводов с нарушенной изоляцией, подверженных стресс-коррозии.

Известен способ определения стойкости труб из ферромагнитных сталей к внутрикотловой коррозии (патент RU № 2222000, опубл. 20.01.2004) путем измерения косвенных параметров, характеризующих последнюю тем, что измеряют физическую величину, коррелирующую с сопротивлением металла трубы намагничиванию, например, коэрцитивную силу.

Недостатками способа является то, что магнитные поля защитных и коррозионных токов достаточно трудно отфильтровать от магнитного поля намагниченной катоднозащищенной стали.

Известен способ оценки склонности трубных марок сталей к стресс-коррозии (патент RU № 2299420, опубл. 20.05.2007), в соответствии с которым на образец воздействуют водородсодержащей средой 3%NaCl + HCl до pH 2-2,3, алмазом наносят отпечатки, прикладывают растягивающую нагрузку в пределах 0,85 – 0,95 от предела текучести стали и определяют по формуле коэффициент неравномерности поверхностной микродеформации (КН), по которому оценивают склонность стали к стресс-коррозии.

Недостатками способа является необходимость изготовления из анализируемого участка трубы специальных образцов для проведения механических испытаний, что связано с потерей трубы своей работоспособности.

Известен способ оценки стойкости к коррозионному растрескиванию под напряжением низколегированных трубных сталей (патент RU № 2611699, опубл. 28.02.2017), по которому технический результат достигается за счет испытания на одноосное растяжение стандартного цилиндрического образца без концентратора напряжений, изготовленного в соответствии с ГОСТ 1497 тип IV, с удлиненной захватной частью из исследуемой стали, помещенного в электролитическую ячейку с суспензией грунта при нейтральном pH т.е. 5,5-7,2 с приложением к нему потенциала - 1,2 В н.в.э. при замедленном нагружении до разрушения с постоянной скоростью относительной деформации  $10^{-5} \text{ с}^{-1}$ , устанавливаемой непосредственным регулированием испытательной машины, скорости перемещения активного захвата.

Недостатками способа является необходимость изготовления из анализируемого участка трубы специальных образцов для проведения механических испытаний, что связано с потерей трубы своей работоспособности.

Известен способ оценки склонности сталей к водородной хрупкости (авторское свидетельство SU № 1272161, опубл. 23.11.1986) в соответствии с которым испытанию подвергают две группы образцов. На образцах первой группы определяют зависимость концентрации диффузионно-подвижного водорода от времени наводороживания до различной концентрации внедренного водорода. Образцы второй группы после наводороживания до значений концентраций диффузионно-подвижного водорода, соответствующих возрастному участку указанной зависимости, растягивают до разрушения, определяют хрупкую прочность, устанавливают зависимость хрупкой прочности от концентрации диффузионно-подвижного водорода, а о склонности стали к водородной хрупкости судят по значению хрупкой прочности, соответствующей нулевой концентрации диффузионно-подвижного водорода.

Недостатками способа является необходимость изготовления из анализируемого участка трубы специальных образцов для проведения механических испытаний, что связано с потерей трубы своей работоспособности.

Известен способ контроля стойкости трубных сталей против коррозионного

растрескивания под напряжением (патент RU № 2515174, опубл. 10.05.2014), заключающийся в том, что из сталей изготавливают образцы, в которых определяют общее содержание водорода в исходном состоянии, в состоянии после искусственного старения в течение 10-40 часов при температурах 50-300°C и после дополнительной термической обработки при температуре 850-1000°C в течение 10-60 минут в печи в воздушной атмосфере с последующим охлаждением на воздухе, а перед термической обработкой обеспечивают влажность атмосферы в рабочем пространстве печи не менее 50%. При этом о стойкости стали против коррозионного растрескивания судят по изменению содержания водорода в процессе старения и термической обработки по сравнению с его содержанием в исходном состоянии. Техническим результатом является обеспечение информативности при небольшой длительности проведения контроля на стойкость против коррозионного растрескивания с учетом химического состава и микроструктуры, наличия и распределения неметаллических включений, являющихся ловушками водорода.

Недостатками способа является необходимость изготовления из анализируемого участка трубы специальных образцов для проведения механических испытаний, что связано с потерей трубы своей работоспособности.

Известен способ определения стойкости металла подземных трубопроводов к стресс-коррозии путем измерения косвенных параметров (патент RU № 2222000, опубл. 20.01.2004), принятый за прототип, заключающийся в контроле с помощью электрода сравнения электродного потенциала металла или сплава и по отклонению потенциала от значений, определяемых диаграммой Пурбе, вычисляют давление водорода в металле, коррелирующее с его несущей способностью.

Недостатками способа является то, что он может быть использован только для трубопроводов, для которых известна диаграмма Пурбе материала трубопровода, информация о которой отсутствует для большинства трубопроводных сталей.

Техническим результатом является определение участка трубопровода подверженного стресс-коррозионному поражению.

Технический результат достигается тем, что в способе определения подверженности участков подземных стальных трубопроводов стресс-коррозии, включающем измерение косвенных параметров, характеризующих последнюю, определение водорода в металле, в соответствии с изобретением, изготавливают пластины и образцы свидетели в форме цилиндра из проката материала трубопровода, сканером механических напряжений измеряют исходный сигнал  $S_0$  в средней точке каждой пластины, затем пластину и образцы свидетели помещают в электролизер, заполненный электролитом, который при пропускании постоянного электрического тока выделяет на поверхности атомарный водород, к нерабочим частям пластины и образца свидетеля подключают положительный полюс источника постоянного электрического тока, а отрицательный полюс этого источника подключают к графитовой пластине, которая помещена в электролизер, включают источник постоянного тока и регулировкой величины тока достигают на пластине и образце свидетеле тока заданной плотности, на поверхности которых адсорбируется атомарный водород, а затем диффундирует внутрь, при этом в них достигается концентрации водорода, которая пропорциональна плотности протекающего тока, оставшаяся часть водорода, в виде пузырьков, поднимается вверх, концентрация водорода в пластинах принимают равной концентрации в образцах свидетелей, которую определяют физико-химическим методом анализа, затем на каждой наводороженной пластине проводят замеры сигнала  $S_H$  сканером механических напряжений, затем проводят сравнение величин сигналов с пластин до- и после их

наводорожения, строят зависимость изменения величины сигнала в результате наводороживания и определяют коэффициент пропорциональности зависимости, на участке трубопровода с нарушенной изоляцией и на участке с ненарушенной изоляцией отмечают не менее пяти точек, в которых проводят замер сигнала сканером механических напряжений и определяют среднее арифметическое значение сигнала для каждого участка и их разницу для двух участков, далее используют установленный коэффициент пропорциональности рассчитывают концентрацию водорода в трубопроводе на участке с нарушенной изоляцией и сравнивают её с критической концентрацией водорода, если концентрация водорода меньше критической, то трубопровод пригоден к дальнейшей эксплуатации, если больше критической, то участок трубопровода требует замены.

Способ поясняется следующими фигурами:

- фиг. 1 – пластин, используемых для снятия сигнала и наводороживания;
- фиг. 2 – схема установки для электролитического наводороживания пластин;
- 15 фиг. 3 – Вид пузырьков водорода, выделяющихся на пластине в процессе электролиза;
- фиг. 4 – образцы-свидетели, использованных для определения содержания водорода в металле пластин после их электролитического наводороживания;
- фиг. 5 – карта распределения изолиний РГМН по ширине пластины, подвергнутой наводороживанию;
- 20 фиг. 6 – карта распределения изолиний РГМН по ширине исходной пластины;
- фиг. 7 – график зависимости абсолютной величины разницы в величине сигнала РГМН с пластин до - и после их наводороживания от содержания водорода в пластине, где:

- 1 – место замера сигнала сканером механических напряжений;
- 25 2 – пластина;
- 3 – электролизер;
- 4 – источник постоянного тока;
- 5 – графитовая пластина.

Способ осуществляется следующим образом. Из листа проката материала, из которого изготовлен анализируемый трубопровод, вырезают пластины размером 150x50 мм толщиной 3 мм и размечают линией на две равные половины – рабочую и нерабочую части. На рабочей поверхности пластины, отмечают среднюю точку, место пересечения диагоналей место замера сигнала сканером механических напряжений 1 (фиг. 1).

35 Пластину помещают под датчик сканера механических напряжений, величина сигнала которого коррелирует с величиной механических напряжений в пластине и с содержанием в ее металле водорода. В средней точке каждой пластины проводят измерение исходного сигнала  $S_0$ , значение которого регистрируют в компьютерной программе.

40 Затем пластину 2 (фиг. 2) в вертикальном положении рабочей частью вниз помещают в электролизер 3, заполненный электролитом, который способен при пропускании постоянного электрического тока выделять на пластине 2 атомарный водород. К нерабочей части пластины подключают положительный полюс источника 4 постоянного электрического тока, отрицательный полюс этого источника подключают к графитовой 45 пластине 5, которую помещают в тот же электролизер параллельно пластине 2 на расстоянии от 5 до 7 см до ее поверхности. Затем включают источник постоянного тока 4 и проводят регулировку силы тока  $I$ , достигая на пластине заданной величины плотности тока  $J$ , которую рассчитывают по формуле:



$J = I / S$ , где

$I$  - сила тока;

$S$  - площадь поверхности погруженной рабочей части пластины. Пропускание тока осуществляют в течение не менее 30 минут.

5 В результате протекающего процесса электролиза на пластине 2, как на катоде, происходит выделение атомарного водорода, часть которого адсорбируется на поверхности пластины 2, откуда диффундирует внутрь пластины 2 с достижением в ней концентрации водорода  $[H]$ , пропорциональной плотности протекающего тока  $J$ . Оставшаяся часть водорода, в виде пузырьков (фиг. 3) поднимается вверх, откуда  
10 удаляется в вытяжную вентиляцию.

Далее операция повторяется для всех оставшихся пластин, при их наводороживании при других плотностях тока  $J$ .

Концентрацию водорода  $[H]$  в каждой пластине определяют на соответствующем ей образце свидетеле (фиг. 4), который изготавливают из того же листа проката материала  
15 в форме цилиндра. Образец свидетель помещают в электролизер, заполненный электролитом, который способен при пропускании постоянного электрического тока выделять на образце свидетеле атомарный водород. К нерабочей части образца свидетеля подключают положительный полюс источника постоянного электрического  
20 тока, отрицательный полюс этого источника подключается к графитовой пластине, которую помещают в тот же электролизер параллельно образцу свидетелю на расстоянии от 5 до 7 см до его поверхности. Затем включают источник постоянного  
тока и, регулировкой силы тока  $I$ , достигают на образце свидетеле тока заданной плотности  $J$ . Проводят наводороживание образца свидетеля при той же плотности  
25 тока  $J$  и продолжительности  $t$ , что и в случае пластины, что обеспечивает концентрацию водорода в образце свидетеле такую же, что и в пластине. После этого физико-химическим методом анализа, например, методом вакуумной плавки, определяют  
концентрацию водорода в образце свидетеле, которая принимается за концентрацию водорода  $[H]$  в данной пластине. Величину концентрации водорода  $[H]$  в пластине  
30 регистрируют в компьютерной программе. Далее операция повторяется на образцах свидетелях, соответствующих другим пластинам.

Проведением наводороживания не менее пяти пластин при различных плотностях  
тока  $J_i$ , с определением в каждой из них с помощью необходимых образцов свидетелей  
35 концентрации водорода  $[H]$ , достигается получение серии пластин, содержащих водород в различном количестве, представляющих собой эталонную шкалу содержания водорода в пластинах, изготовленных из данного металлического материала.

Затем в той же средней точке 1 (фиг. 1) поверхности каждой уже наводороженной  
40 пластины сканером механических напряжений осуществляют замер сигнала  $C_H$ , величину которого заносят в компьютерную программу и сопоставляют с величиной сигнала с этой же пластины  $C_0$  до ее наводороживания.

Для каждой пластины определяют разницу в величине сигналов

$$\Delta C = C_H - C_0,$$

которую сопоставляют с концентрацией водорода в пластине, после этого строят  
45 зависимость изменения величины сигнала в результате наводороживания  $\Delta C$  в зависимости от содержания в пластине водорода  $[H]$ , вида:

$$\Delta C = K [H], \text{ где}$$

$K$  – коэффициент пропорциональности.

Полученное значение коэффициента пропорциональности  $K$  используют для

определения содержания водорода в стенке трубопровода на его участке с нарушенной изоляцией, где есть угроза подверженности металла трубы стресс-коррозионному поражению.

Для этого в донной части трубы анализируемого участка трубопровода, как части наиболее часто подверженной стресс-коррозионному поражению, выбирается не менее в пяти точек, расположенных на расстоянии от 10 до 15 см друг от друга. В каждой из этих точек осуществляют замер сигнала сканера механических напряжений и рассчитывают средне арифметическое для всех точек трубы значение сигнала  $C_{Нтр}$  с наводороживанной трубы.

Затем, выбирают рядом лежащий участок того же трубопровода, но с ненарушенной изоляцией, где отсутствует опасность наводороживания трубы и угроза подверженности ее металла стресс-коррозионному поражению. Донную часть трубы на этом участке очищают от изоляции и на ней отмечают не менее пяти точек, расположенных на расстоянии от 10 до 15 см друг от друга. В каждой из этих точек с использованием сканера механических напряжений осуществляют замер сигнала и для всех точек трубы рассчитывают его средне арифметическое значение  $C_{0тр}$ .

Рассчитывают разницу в величине сигналов

$$\Delta C_{тр} = C_{Нтр} - C_{0тр},$$

по которой определяют содержание водорода  $[H]_{тр}$  в металле трубы на участке трубопровода с нарушенной изоляцией:

$$[H]_{тр} = \Delta C_{тр} / K, \text{ где}$$

$K$  - значение коэффициента пропорциональности для материала данного трубопровода.

Величину  $[H]_{тр}$  сопоставляют с критической концентрацией водорода  $[H]_{кр}$  в трубе подземного трубопровода, при которой имеет место ее стресс-коррозионное поражение. Если концентрация водорода  $[H]_{тр}$  меньше критической  $[H]_{кр}$ , то трубопровод пригоден к дальнейшей эксплуатации. Если концентрация водорода больше критической, то участок трубопровода требует замены.

Способ поясняется следующим примером.

Из листа проката стали 20, как материала, широко используемого для строительства магистральных и промысловых газо- и нефтепроводов, изготавливали 5 пластин размером 150x50 мм толщиной 3 мм.

Размечали пластины линией на две равные половины, как на рабочую и нерабочую части. На поверхности одной из половин пластин, выбранной в качестве рабочей, отмечали среднюю точку 1 (фиг. 1), определяемую, как место пересечения диагоналей.

Для каждой из пластин в указанной точке 1 ее поверхности (фиг. 1) с использованием сканера механических напряжений Stress Vision с принципом действия, основанном на магнитоанізотропном методе В.С. Жукова, проводили замер сигнала, величина которого соответствует разнице главных механических напряжений  $RGMH_0$  в пластине, с регистрацией величины  $RGMH_0$  в компьютерной программе.

Первую из пластин 2 (фиг. 2) в вертикальном положении рабочей частью вниз помещали в электролизер 3, заполненный 5% раствором серной кислоты с добавкой тиомочевины (5 г/л), как в раствор, который при пропускании постоянного электрического тока выделяет на катоде атомарный водород.

К нерабочей части пластины подключали положительный полюс источника 4 постоянного электрического тока (марка YA XUN 305D), отрицательный полюс этого

источника подключали к графитовой пластине 5 (аноду), которую помещали в тот же электролизер параллельно пластине на расстоянии от 5 до 7 см от ее поверхности.

Включали источник 4 и регулировкой его силы тока  $I$  достигали прохождения через пластину тока заданной плотности  $J_1 = 10 \text{ мА/см}^2$ , рассчитываемой как  $J_1 = I_1 / S$ , где  $S$  - площадь поверхности погруженной рабочей части пластины ( $81 \text{ см}^2$ ).

Проводили наводороживание в течение  $t = 30$  минут. (Как показали эксперименты, такая продолжительность процесса электролиза оказывается достаточной для установления равновесной концентрации водорода в металле пластин и, по этой причине, время наводороживания во всех экспериментах принималось равным 30 минутам).

В результате протекающего процесса электролиза на пластине, как на катоде, выделялся атомарный водород, часть которого адсорбировалась на поверхности пластины, откуда диффундировала в ее объем с достижением в нем концентрации  $[H]_1$ , пропорциональной плотности протекающего тока  $J_1$ . Остающаяся часть водорода подвергалась молизации и в виде пузырьков (фиг. 3) поднималась вверх и удалялась в вытяжную вентиляцию.

Концентрацию водорода  $[H]_1$  в первой пластине на рабочей ее части определяли на первом образце свидетеле (фиг. 4, образец №1), который изготавливали в виде цилиндра из того же листа проката стали 20 и наводороживали при тех же плотности тока  $J_1 = 10 \text{ мА/см}^2$  и продолжительности  $t = 30$  минут, что обеспечивало концентрацию водорода в образце свидетеле ту же, что и в первой пластине. Методом вакуумной плавки, определяли концентрацию водорода в образце свидетеле  $[H]_1$ , которая оказалась равной  $0,9 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ . Ее принимали за концентрацию водорода  $[H]_1$  в первой пластине и регистрировали в компьютерной программе.

Вторую пластину подвергали электролизу тоже 30 минут, но при плотности тока  $J_2 = 20 \text{ мА/см}^2$ , что обеспечивало достижение в ней концентрации водорода  $[H]_2 = 1,2 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ , установленной с использованием второго образца свидетеля, с регистрацией  $[H]_2$  в компьютерной программе.

Наводороживанием оставшихся 3-х пластин при плотностях тока  $J_3 = 30 \text{ мА/см}^2$ ,  $J_4 = 40 \text{ мА/см}^2$ ,  $J_5 = 50 \text{ мА/см}^2$  с достижением в них концентраций водорода  $[H]_3 = 1,5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ ,  $[H]_4 = 1,8 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ ,  $[H]_5 = 2,1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ , установленных с использованием необходимых образцов свидетелей, была получена серия из 5-и пластин с рабочей частью наводороженной до различной концентрации водорода.

Затем в той же средней точке 1 (фиг. 1) поверхности каждой уже наводороженной пластины тем же сканером механических напряжений Stress Vision осуществляли замер сигнала  $РГМН_H$  (фиг. 5), с фиксацией его величины в компьютерной программе с сопоставлением ее с величиной сигнала  $РГМН_0$  с этой же пластины до ее наводороживания (фиг. 6).

Для каждой пластины определяли (1) разницу в величине сигналов  $\Delta РГМН = РГМН_H - РГМН_0$  (1)

По абсолютной величине  $|\Delta РГМН|$ , с учетом данных, полученных на образцах-свидетелях о содержании водорода  $[H]$  в каждой пластине, строили зависимость (2)  $|\Delta РГМН| = K[H]$  (2)

где  $K$  – коэффициент пропорциональности.

Результаты измерений сигнала РГМН с пластин до- после их наводороживания при заданных плотностях тока иллюстрирует таблица 1 и фиг. 7.

Таблица 1 – Величины сигналов с исходных (РГМН<sub>0</sub>) и наводороженных (РГМН<sub>Н</sub>) пластин, а также их разность  $|\Delta\text{РГМН}|$  в зависимости от плотности тока  $J$  при наводороживании и содержания водорода [Н] в пластине

Номер пластины	РГМН <sub>0</sub>	$J, \text{мА/см}^2$	РГМН <sub>Н</sub>	$ \Delta\text{РГМН} $	[Н], $\text{см}^3/100\text{г}$
1	-273	10	- 259	14	0,9
2	-268	20	-251	17	1,2
3	-231	30	- 207	24	1,5
4	-285	40	-255	30	1,8
5	-257	50	-222	35	2,1

Как следует из данных таблицы 1 и фиг. 7, разница  $|\Delta\text{РГМН}|$  в величине сигналов с пластин до - и после их наводороживания возрастает (по абсолютной величине) с увеличением содержания водорода в металле пластины в соответствии с зависимостью (2) при значении коэффициента  $K$  в зависимости равно  $16,7 \text{ РГМН}/(\text{см}^3/100\text{г})$ .

Полученное значение коэффициента пропорциональности  $K$  предлагается использовать для определения содержания водорода в стенке трубопровода из стали 20 на его участке с нарушенной изоляцией, где есть угроза подверженности металла трубы стресс-коррозионному поражению.

Для этого в донной части трубы анализируемого участка трубопровода, как части наиболее часто подвергаемой стресс-коррозионному поражению, выбирается не менее пяти точек, расположенных на расстоянии от 10 до 15 см друг от друга. В каждой из этих точек с использованием сканера механических напряжений Stress Vision осуществляется замер сигнала РГМН<sub>Н</sub> с расчетом его средне арифметического для всех точек трубы значения РГМН<sub>Нтр</sub>.

Затем, выбирается лежащий рядом участок того же трубопровода, но с ненарушенной изоляцией, где отсутствует опасность наводороживания трубы и нет угрозы подверженности ее металла стресс-коррозионному поражению. Донная часть трубы на этом участке очищается от изоляции и на ней отмечается не менее пяти точек, расположенных на расстоянии от 10 до 15 см друг от друга. В каждой из этих точек с использованием того же сканера механических напряжений осуществляется замер сигнала РГМН<sub>0</sub> с расчетом его средне арифметического для всех точек трубы значения РГМН<sub>0тр</sub>.

Рассчитывается разница

$$\Delta\text{РГМН}_{\text{тр}} = \text{РГМН}_{\text{Нтр}} - \text{РГМН}_{0\text{тр}}, \quad (3)$$

по которой, с использованием установленного для материала анализируемого трубопровода стали 20 значения  $K = 16,7 \text{ РГМН}/(\text{см}^3/100\text{г})$ , определяется (4) содержание водорода [Н]<sub>тр</sub> в стенке трубопровода на участке с нарушенной изоляцией за счет её наводороживания из-за контакта с грунтовой водой

$$[\text{Н}]_{\text{тр}} = |\Delta\text{РГМН}_{\text{тр}}| / K \quad (4)$$

Величина [Н]<sub>тр</sub> сопоставляется с критической концентрацией водорода [Н]<sub>кр</sub> в стенке стального трубопровода, при которой протекает процесс стресс-коррозии ( $[\text{Н}]_{\text{кр}} \sim 8 \text{ см}^3/100\text{г}$ ). Из сопоставления разрабатывается заключение о наличии или отсутствии

стресс-коррозионного поражения трубопровода на данном участке и возможности его дальнейшей эксплуатации:

- если установленное значение  $[H]_{\text{тр}} < 8 \text{ см}^3/100\text{г}$ , то данный участок трубопровода не подвержен стресс-коррозионному поражению и может, после замены изоляции, быть использован в дальнейшей эксплуатации;

- если установленное значение  $[H]_{\text{тр}} \geq 8 \text{ см}^3/100\text{г}$ , то данный участок трубопровода подвержен стресс-коррозионному поражению и требует замены.

Например, при значении  $\text{РГМН}_{0\text{тр}} = -250$ , а  $\text{РГМН}_{\text{Нтр}} = -90$ ,  $K = 16,7 \text{ РГМН}/(\text{см}^3/100\text{г})$ ,  $|\Delta \text{РГМН}_{\text{тр}}| = 160$  и значение  $[H]_{\text{тр}}$ , составляет

$$[H]_{\text{тр}} = 160 / 16,7 = 9,6 \text{ см}^3/100\text{г} \quad (4)$$

Значение  $[H]_{\text{тр}}$  ( $9,6 \text{ см}^3/100\text{г}$ )  $>$   $[H]_{\text{кр}}$  ( $8 \text{ см}^3/100\text{г}$ ) и, следовательно, данный участок трубопровода подвержен стресс-коррозионному поражению и требует замены.

Замер сигнала сканера механических напряжений, величина которого коррелирует с величиной механических напряжений в стенке трубопровода, и, как следствие, с содержанием в ее металле водорода, с труб двух рядом лежащих участков подземного трубопровода с нарушенной и не нарушенной изоляцией и сравнение его величины, с учетом результатов лабораторных тарировочных испытаний пластин из материала трубопровода при их наводороживании и измерении сигнала тем же датчиком, дает возможность определить содержание водорода в металле трубопровода на участке с нарушенной изоляцией и разработать заключение о его подверженности стресс-коррозии и необходимости замены.

#### (57) Формула изобретения

Способ определения подверженности участков подземных стальных трубопроводов стресс-коррозии, включающий измерение косвенных параметров, характеризующих последнюю, определение водорода в металле, отличающийся тем, что изготавливают пластины и образцы-свидетели в форме цилиндра из проката материала трубопровода, сканером механических напряжений измеряют исходный сигнал  $S_0$  в средней точке каждой пластины, затем пластину и образцы-свидетели помещают в электролизер, заполненный электролитом, который при пропускании постоянного электрического тока выделяет на поверхности атомарный водород, к нерабочим частям пластины и образца-свидетеля подключают положительный полюс источника постоянного электрического тока, а отрицательный полюс этого источника подключают к графитовой пластине, которая помещена в электролизер, включают источник постоянного тока и регулировкой величины тока достигают на пластине и образце-свидетеле тока заданной плотности, на поверхности которых адсорбируется атомарный водород, а затем диффундирует внутрь, при этом в них достигается концентрация водорода, которая пропорциональна плотности протекающего тока, оставшаяся часть водорода, в виде пузырьков, поднимается вверх, концентрацию водорода в пластинах принимают равной концентрации в образцах-свидетелях, которую определяют физико-химическим методом анализа, затем на каждой наводороженной пластине проводят замеры сигнала  $S_{\text{H}}$  сканером механических напряжений, затем проводят сравнение величин сигналов с пластин до и после их наводороживания, строят зависимость изменения величины сигнала в результате наводороживания и определяют коэффициент пропорциональности зависимости, на участке трубопровода с нарушенной изоляцией

и на участке с ненарушенной изоляцией отмечают не менее пяти точек, в которых проводят замер сигнала сканером механических напряжений и определяют среднее арифметическое значение сигнала для каждого участка и их разницу для двух участков, далее, используя установленный коэффициент пропорциональности, рассчитывают концентрацию водорода в трубопроводе на участке с нарушенной изоляцией и сравнивают её с критической концентрацией водорода, если концентрация водорода меньше критической, то трубопровод пригоден к дальнейшей эксплуатации, если больше критической, то участок трубопровода требует замены.

10

15

20

25

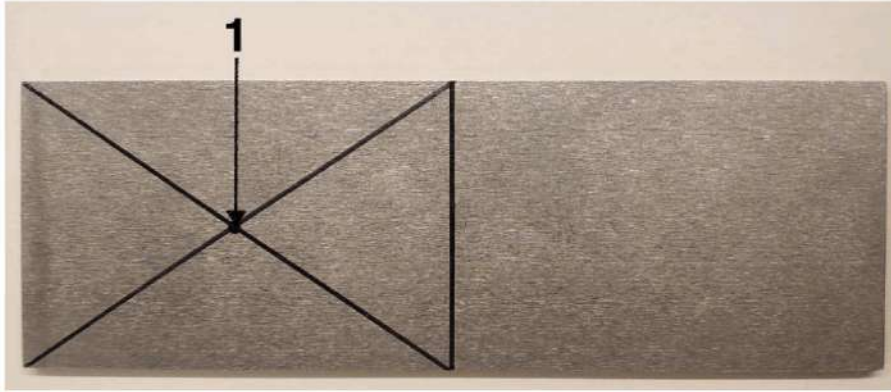
30

35

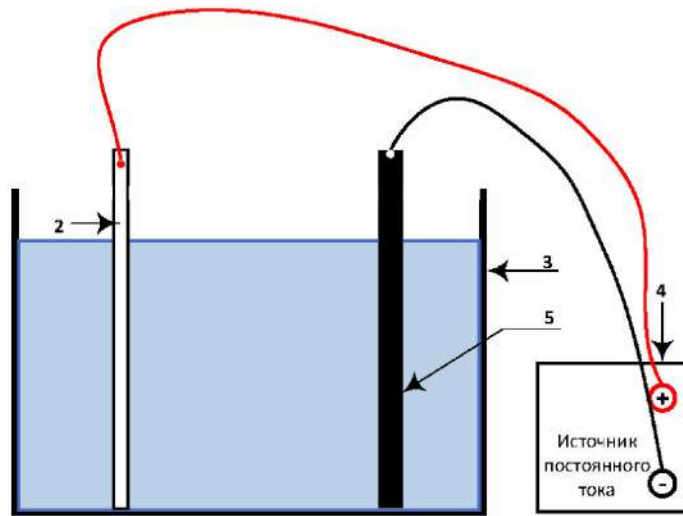
40

45

1



Фиг. 1



Фиг. 2

2

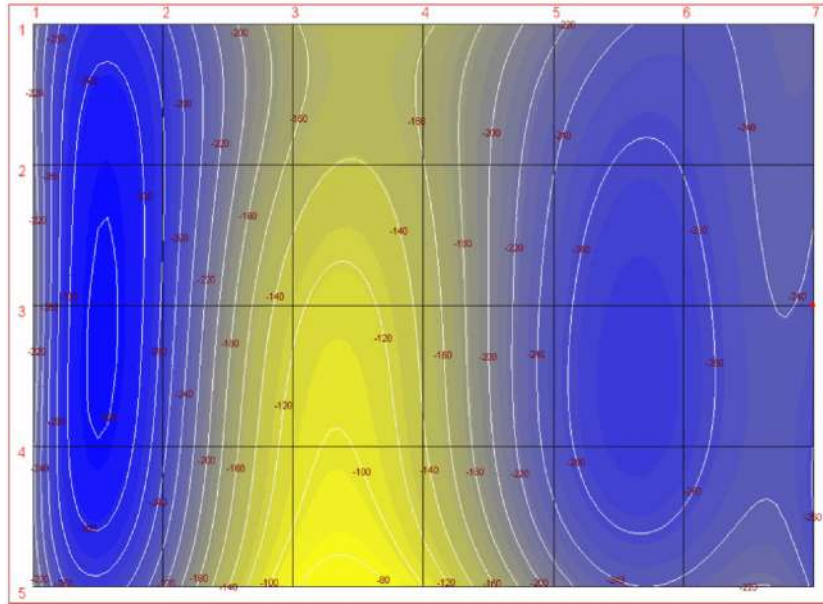


Фиг. 3

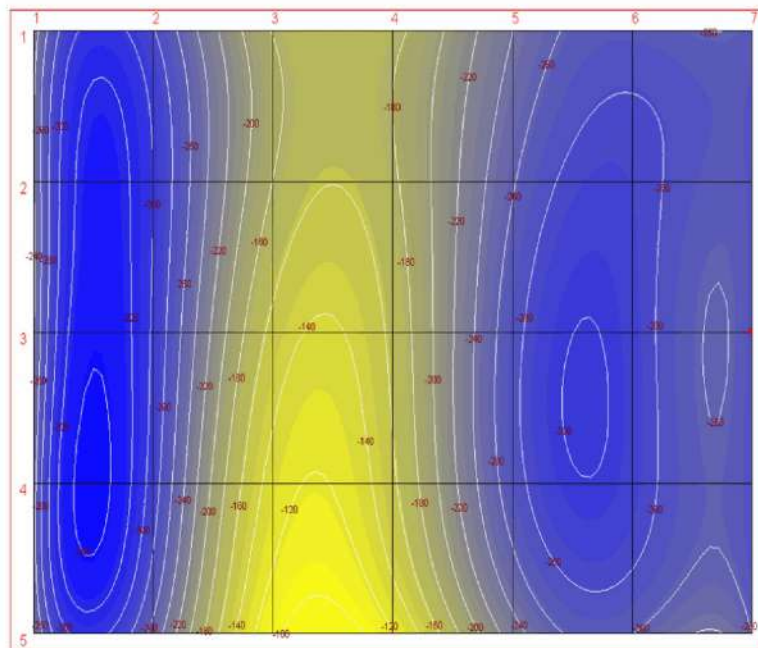


Фиг. 4

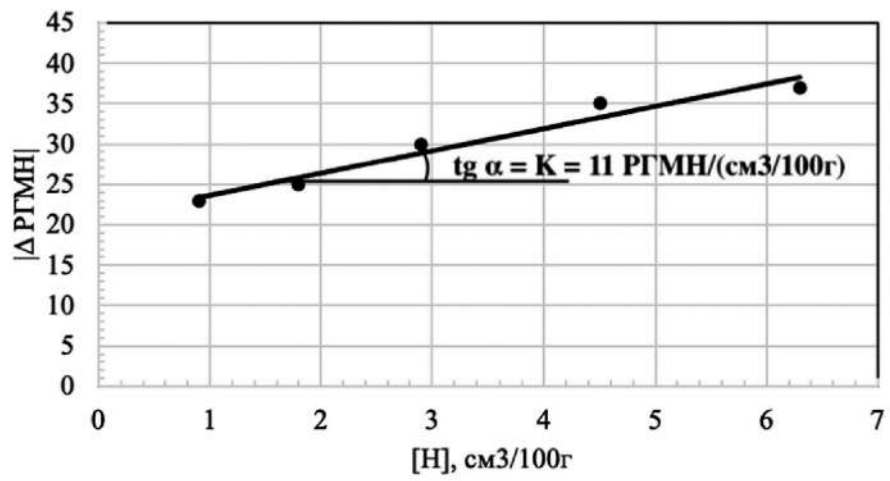




Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7