

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **039461**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.01.28**

(51) Int. Cl. **F17D 5/00 (2006.01)**  
**G01N 17/00 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**201991826**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.04.25**

---

(54) **СПОСОБ КОНТРОЛЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ**

---

(31) **2017107209**

(32) **2017.03.06**

(33) **RU**

(43) **2019.12.30**

(86) **PCT/RU2018/000273**

(87) **WO 2018/164608 2018.09.13**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**КАЛМЫКОВ РОМАН  
КОНСТАНТИНОВИЧ; БАРКОВ  
ИВАН МИХАЙЛОВИЧ; СИДОРИЧ  
СТАНИСЛАВ СЕРГЕЕВИЧ;  
СУХОРУКОВ АНТОН ВАДИМОВИЧ  
(RU)**

(72) Изобретатель:

**Калмыков Евгений Николаевич,  
Калмыков Роман Константинович,  
Выберанец Иван Иванович,  
Бернштейн Михаил Владимирович  
(RU)**

(74) Представитель:

**Носырева Е.Л. (RU)**

(56) **SU-A1-1748024  
WO-A1-2009149243  
SU-A1-1226171**

(57) Изобретение относится к средствам для мониторинга и диагностики коррозионных процессов внутри технологических аппаратов и трубопроводов. Способ контроля коррозионных процессов включает в себя установку метки, отбор флюида и контроль индикаторов. Метку устанавливают на внутренней поверхности исследуемого объекта. Метку выбирают с возможностью нанесения на металлическую поверхность с обеспечением устойчивости к рабочему флюиду и отсутствия аналогов в составе рабочего флюида, биологической и химической неактивности по отношению к рабочему флюиду и поверхности, на которую наносят метку, а также с обеспечением устойчивости метки к баротермическому воздействию. После чего метку наносят на заранее определенные участки исследуемого объекта. Вводят в эксплуатацию, заполняя рабочим флюидом. После начала коррозионного процесса метка, нанесенная на участки, подвергшиеся коррозии, вместе с частицами металла или антикоррозийного покрытия подвергшихся коррозии участков отслаивается от объекта. Затем метка выходит в зону отбора флюида для контроля концентрации меток, которые и определяют наличие и интервал, в котором произошла коррозия и интенсивность коррозионного процесса. На разные заранее намеченные участки объекта наносят различные по идентификации метки. Скорость коррозии определяют по концентрации количества меток в процессе исследования. В качестве метки выбирают флуоресцентные вещества, или индикаторы радикального типа, или вещества с высоким поглощением тепловых нейтронов, или радиоактивные изотопы, или цветные вещества. Метку наносят на максимальную площадь возможной коррозии.

**B1**

**039461**

**039461**

**B1**

### Область техники

Изобретение относится к средствам для мониторинга и диагностики коррозионных процессов внутри технологических аппаратов и трубопроводов.

### Уровень техники

В настоящее время на территории России эксплуатируется 350 тыс. км промышленных трубопроводов. Ежегодно на нефтепромысловых трубопроводах происходит около 50-70 тыс. отказов. 90% отказов являются следствием коррозионных повреждений.

Из общего числа аварий 50-55% приходится на долю систем нефтесбора и 30-35% - на долю коммуникаций поддержания пластового давления. 42% труб не выдерживают пятилетней эксплуатации, а 17% - даже двухлетней. На ежегодную замену нефтепромысловых сетей расходуется 7-8 тыс. км труб или 400-500 тыс. тонн стали. При разгерметизации трубопроводов и технологических аппаратов колоссальный ущерб наносится флоре и фауне региона деятельности компаний.

Своевременная идентификация наличия и местоположения коррозии в технологических аппаратах, трубопроводах и инженерных сетях в процессе непрерывной работы может предотвратить много вынужденных простоев и аварийных ситуаций, определить наиболее характерные места возникновения дефектов, на которых следует сосредоточить особое внимание при обследованиях.

В настоящее время основным инструментом системы диагностического обследования трубопроводов является внутритрубная диагностика. На сегодняшний день используются различные методы диагностики трубопроводов, основанные на различных физических законах.

Диагностика трубопроводов при помощи видеосъемки.

Использование самых современных методов для анализа состояния трубопроводов всегда сопровождается на конечном этапе зрительным осмотром на факт выявления дефектов и упущений в ходе автоматического обследования. Качество трубопроводов в последнее время проверяют при помощи видеодиагностики изнутри трубы; внутритрубная диагностика трубопроводов производится специальными роботами, которые постепенно перемещаясь по каналу трубы, формируют непрерывное изображение, тем самым выявляя дефекты, требующие локализации. Данный метод способен выявить только грубые нарушения сплошности трубопроводов, выявить протечки участков, расположенных в грунте или закрытых тоннелях, а также места закупоривания и отложения илистых осадков.

Опрессовка труб.

В качестве самого старого и надежного способа, обладающего высокой точностью и надежностью в комплексе с низкой себестоимостью проведения, используется метод опрессовки труб высоким давлением. После монтажа трубопровода в него подается под высоким давлением (превышающим рабочее давление примерно в несколько раз) газовая смесь, преимущественно инертные газы или водяной пар. Далее наблюдаются стыки, сварные швы и места крепления трубопроводов к котельному оборудованию. За счет разности давлений внутри и снаружи трубы утечка сразу становится видна из-за потока конденсированного пара, выпадающего в осадок при резком падении давления.

Бесконтактное магнитометрическое обследование.

Интегральный экспресс-метод является разновидностью метода магнитной памяти металла. Основан на регистрации и анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния (СМПП) изделий с целью определения зон концентрации напряжений, дефектов, неоднородности структуры металла.

ВИК.

Проведение визуально-измерительного контроля регулируется Инструкцией по визуальному и измерительному контролю (утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 11 июня 2003 г. № 92). Для визуально-измерительного контроля используются специальные комплекты приспособлений.

Ультразвуковая дефектоскопия.

Ультразвуковая дефектоскопия - поиск дефектов в материале изделия ультразвуковым методом, т.е. путем излучения и принятия ультразвуковых колебаний и дальнейшего анализа их амплитуды, времени прихода, формы и пр.

Ультразвуковая толщинометрия.

УЗ-толщинометрию проводят с целью оценки фактического значения толщины стенок элементов конструкций способом однократных измерений в местах, недоступных для измерения толщины механическим измерительным инструментом. УЗ-толщинометрия осуществляется эхо-импульсным методом.

Ультразвуковой контроль (УЗ-скрининг).

Этот метод позволяет быстро определить, где находится проблемное место на трубе. Метод направленных волн, используемый при контроле, полностью отличается от методов, используемых при традиционных способах УЗ.

Тепловой контроль.

Тепловизионное обследование - одно из передовых направлений неразрушающего тепловизионного контроля за состоянием конструкций и электрооборудования. Тепловизионное обследование является эффективным способом выявления дефектов.

Вихретоковый метод контроля.

Вихретоковый метод контроля основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного

поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля (ОК) этим полем.

Электрический контроль.

Применяются методы обследований состояния ЭХЗ подземных трубопроводов. Классификация может быть осуществлена по технологическому признаку - измерения методами электрометрической диагностики собственно МГ производятся непосредственно над трубопроводом.

Внутритрубные снаряды.

Внутритрубная диагностика трубопроводов основана на использовании автономных снарядов-дефектоскопов (поршней, pigs), движущихся внутри контролируемой трубы под напором перекачиваемого продукта (нефть, нефтепродукты, газ и т.п.). Снаряд снабжен аппаратурой (обычно ультразвуковой или магнитной).

Акустическая эмиссия (АЭ).

Метод АЭ основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации и разрушения (роста трещин) контролируемых объектов. Это позволяет формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии их оценки.

Радиационные методы контроля.

Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе ионизирующего излучения при его взаимодействии с контролируемым изделием. Наиболее часто применяются методы контроля прошедшим излучением, основанные на различном поглощении ионизирующих излучений.

Магнитопорошковый метод.

Магнитопорошковый метод среди других методов магнитного контроля нашел наибольшее применение благодаря легкости и простоте получения требуемого результата.

Телеуправляемый диагностический комплекс (ТДК).

ТДК - это телеуправляемый диагностический комплекс для обследования трубопроводов изнутри. ТДК предназначен для контроля трубопроводов диаметром 700-1400 мм. Двигаясь внутри трубы, робот измеряет толщину стенок, выявляет дефекты в теле трубы и проводит визуальный контроль.

Рентгенографический кроулер.

Кроулер - автономный самодвижущийся рентгеновский комплекс, предназначенный для контроля качества сварных соединений трубопроводов. Это полностью независимое экспонирующее устройство, работающее без проводов.

Оптический контроль.

Оптический диапазон спектра по определению, принятому Международной комиссией по освещению (МКО), составляют электромагнитные волны, длина которых от 1 мм до 1 нм. Оптические методы основаны на использовании явлений отражения.

Проникающие вещества.

Капиллярный контроль применяют также для объектов, изготовленных из ферромагнитных материалов, если их магнитные свойства, форма, вид и местоположение дефектов не позволяют достичь требуемой чувствительности магнитопорошковым методом.

Техническая эндоскопия.

Эндоскоп (или бороскоп) - оптический прибор, который применяется в визуальном контроле для различных целей. Например, эндоскоп (бороскоп) используется в технике для осмотра труднодоступных мест.

Твердометрия.

Твердометрия - это метод неразрушающего контроля твердости металлов, сплавов, резины, пластмассы, бетона и других материалов. Твердометрия является одним из основных видов механических испытаний металла и эффективным средством диагностики его структурно-механического состояния.

Метод магнитной памяти металла.

Процессами, предшествующими эксплуатационному повреждению, являются изменения свойств металла (коррозия, усталость, ползучесть) в зонах концентрации напряжений. Соответственно изменяется намагниченность металла, отражающая фактическое напряженно-деформированное состояние трубопроводов, оборудования и конструкций.

Основными недостатками вышеперечисленных методов являются сложность устройств, существенная стоимость устройств диагностики, длительная подготовка персонала, а также невозможность применения методов коррозионной диагностики вследствие конструктивных особенностей исследуемого объекта или необходимости вывода объекта из технологического процесса.

Известен патент РФ на изобретение № 2511787, МПК F17D 5/02, "Маркер для внутритрубной диагностики". Изобретение относится к магнитной внутритрубной диагностике и может использоваться в нефтегазовой промышленности при определении координат дефектов металла труб подземных трубопроводов. Маркер состоит из двух маркерных накладок, выполненных из ферромагнитного материала, а именно из предварительно намагниченного композиционного материала с высокими пластическими свойствами, установленных на верх трубопровода с определенным расстоянием между ними. Маркер также содержит вехи с информационным указателем. Накладки фиксируют за счет силы магнитного вза-

имодействия между накладкой и стальной трубой, а вежу с информационным указателем устанавливают в грунт при засыпке трубопровода. Техническим результатом является снижение массы маркера и трудоемкости его установки, а также повышение качества монтажа и надежности его работы.

Недостатком данного изобретения является то, что для исключения риска повреждения метки необходима установка информационного указателя, например флажка; кроме того, во время природных катаклизмов (ураган, град и т.д.) метка может сместиться за счет сильного механического воздействия.

Наиболее близким к заявляемому способу является патент СССР на изобретение № 1226171, "Способ определения износа деталей двигателя внутреннего сгорания". На изнашиваемой поверхности детали, например поршневого кольца, равномерно размещают несколько меток с различными радиоактивными изотопами. Число меток, порядок их размещения и состав изотопов выбирают так, чтобы проникновением квантов излучения от соседних меток через спинки коллиматора можно было пренебречь. Измеряют исходные интенсивности излучения от изотопов меток в выбранных интервалах и устанавливают их взаимосвязь с толщиной меток. Определение интенсивности излучения осуществляют по характеристикам энергетических спектров излучений отдельных изотопов с использованием анализатора излучения. После этого осуществляют работу двигателя в течение заданного времени. Затем двигатель останавливают и устанавливают поршень в верхнюю мертвую точку. Над головкой цилиндра по траектории движения меток перемещают сканнер с узкой угловой коллимацией и устанавливают положение одной из меток, по типу излучения определяют изотоп метки и по изменению суммарной интенсивности излучения метки определяют износ поршневого кольца. Последовательно перемещая сканнер на известные расстояния, по траектории движения меток определяют износ поршневого кольца в местах расположения меток.

Недостатками данного изобретения являются сложность в аппаратном оформлении и ограниченность разнообразия меток. Эти способы являются дорогостоящими и трудоемкими. Пригодны для использования в лаборатории, на испытательных стендах, но не имеют применения в полевых условиях; кроме того, радиометки ограничены разнообразием и их невозможно применять на габаритных изделиях и участках. Большую проблему также создает необходимость остановки оборудования.

#### **Раскрытие изобретения**

Задачей заявляемого способа контроля коррозионных процессов является создание малозатратного, информативного, надежного и эффективного способа определения дислокации и скорости распространения коррозионных дефектов в реальном времени, полностью защищенного от воздействия внешней среды и требующего минимум дополнительного оборудования для фиксации метки, при этом не требующего остановки оборудования.

Поставленная задача решена за счет того, что способ контроля коррозионных процессов включает в себя установку метки, отбор флюида и контроль индикаторов. Метку устанавливают на внутренней поверхности исследуемого объекта. Метку выбирают с возможностью нанесения на металлическую поверхность с обеспечением устойчивости к рабочему флюиду, отсутствия аналогов в составе рабочего флюида, биологической и химической неактивности по отношению к рабочему флюиду и поверхности, на которую наносят метку, а также с обеспечением устойчивости метки к баротермическому воздействию. После чего метку наносят на заранее определенные участки исследуемого объекта. Вводят в эксплуатацию, заполняя рабочим флюидом. После начала коррозионного процесса метка, нанесенная на участки, подвергшиеся коррозии, вместе с частицами металла или антикоррозийного покрытия подвергшихся коррозии участков отслаивается от объекта. Затем метка выходит в зону отбора флюида для контроля концентрации меток, которые и определяют наличие и интервал, в котором произошла коррозия и интенсивность коррозионного процесса. На разные заранее намеченные участки объекта наносят различные по идентификации метки. Скорость коррозии определяют по концентрации количества меток в процессе исследования. В качестве метки выбирают флуоресцентные вещества, или индикаторы радикального типа, или вещества с высоким поглощением тепловых нейтронов, или радиоактивные изотопы, или цветные вещества. Метку наносят на максимальную площадь возможной коррозии.

#### **Реализация изобретения**

На внутреннюю полость резервуара технологического аппарата трубной продукции, в том числе в местах соединений, наносят один из видов меток с последующим покрытием его защитным материалом. При истончении защитного покрытия вследствие воздействия агрессивных факторов рабочей среды происходит высвобождение меток (маркеров-трассеров). По содержанию в пробах рабочего флюида контрольных меток определяют наличие интервала, в котором произошла коррозия, и ее интенсивность. Данное изобретение может быть использовано, в частности, для

определения времени, степени и локализации интервала разрушения защитного покрытия или поверхностного слоя;

оптимизации затрат на проведение технического обслуживания и обследования;

контроля труднодоступных зон, подверженных коррозии.

Способы отбора проб.

ГОСТ 2517-2012 "Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб" стандартизирует методы отбора проб из всех видов вместилищ, резервуаров любого вида, авто- и железнодорожных цистерн. Унифика-

ции подвергается аппаратура, к которой относятся в первую очередь пробоотборники с конкретикой нефтепродуктов и емкостей, в частности

стационарные;

переносные;

пробоотборники для отбора сжиженных углеводородных газов (ГОСТ 14921-78. Газы углеводородные сжиженные. Методы отбора проб) и различных баков с продуктами под давлением.

Методика конкретизирует отбор проб в вертикальных, горизонтальных, льдогрунтовых хранилищах, цистернах, в т.ч. скрытых под землей, в траншеях, танкерах, автоцистернах и т.п.

Пробы помещаются в специальные бутылки, устойчивые к агрессивной среде, герметично закрытые пробкой или завинчивающейся крышкой, обертываются плотным материалом для сохранности, обвязываются бечевкой, пломбируются. На этикетке указываются все требуемые сведения о продукте и данные о взявших пробу лицах.

Обычно делаются две пробы, одна из которых идет в лабораторию, а другая хранится для арбитражного анализа (она носит название арбитражной). Арбитражный анализ может быть произведен при предъявлении претензий по качеству нефти.

Правилами отбора проб нефтяных продуктов также предусмотрены соблюдение техники безопасности и противопожарных норм, нормативов ПДВВ (ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны), материалы пробоотборников, поведение заборщика согласно инструкции и т.д.

Для осуществления способа контроля коррозионных процессов могут быть использованы следующие виды меток.

Метки (маркеры-трассеры), различные вещества, отличающиеся по способу идентификации:

флуоресцентные вещества (родамин, флуоресцеин натрия, динатриевая соль эозина, эритрозин и т.д.), вещества, применяемые для кислотно-основных титрований мутных или сильно окрашенных растворов, у которых при освещении УФ-лучами и при определенном значении pH появляется (или исчезает) флуоресценция или же изменяется ее цвет или оттенок;

индикаторы радикального типа (мочевина, аммиачная сера, стабильные нитроксильные радикалы и их производные (амины, соли аминов)); применяются в виде индикаторов соединения из класса азотистых стабильных нитроксильных радикалов; широко опробованы в Татарии, Башкирии на 15 месторождениях (Индикаторы радикального типа - стабильные нитроксильные радикалы, хорошо растворяются в пластовой и нагнетаемой воде, не имеют аналогов в природе, биологически неактивны (экологически чисты), химически не взаимодействуют с нефтью, устойчивы в пластовых условиях, позволяют создать гамму индикаторов со сходными физико-химическими свойствами и единым методом регистрации. В качестве индикаторов радикального типа используются триацетонамин, бензоат триацетонамина и т.д. Эта технология может применяться при температуре не более 70°C.);

вещества с высоким поглощением тепловых нейтронов (например, хлор, родон, растворы солей бария, бор, кадмий, редкоземельные элементы);

радиоактивные изотопы, например тритий с большим периодом полураспада (Для обнаружения радиоактивного изотопа проводят регистрацию кривых ГК. Выбор изотопа определяется физико-химическими свойствами этих изотопов. Для ввода изотопов используются глубинные инжекторы. Для работы выбираются короткоживущие изотопы, которые не адсорбируются породой. Перед закачкой в скважине обязательно делается фоновый замер ГК. Наиболее широко опробован тритий изотоп иод-131.).

В табл. 1 представлены условия применимости стабильных меток.

Таблица 1

Индикатор	Отложения	Условия применимости				
		Состав пластовой нефти	Минерализация пластовой воды, кг/м <sup>3</sup>	pH среды	Скорость фильтрации, м/сут	Предельная температура, °С
Серная кислота	Терригенные с содержанием карбонатов 1-2%	наличие ароматических соединений	до 200	менее 7	-	150
Флуоресценция	Карбонатные и терригенные с глинистостью не более 10 %	-	до 250	7-11	>100	170
Уронины	Карбонатные и терригенные	-	до 250	5-10	>100	170
Хлорид (хлористый натрий)	то же	различные нефти	до 3	3-11	различная	200
Роданит (роданистый аммоний)	то же	высокое содержание бензиновых фракций, наличие смол и асфальтенов	до 200	5-10	>4	200
Нитроксильные радикалы (2,2,6,6-тетраметил-4-окситерпидин - 1-оксид)	то же	-	до 250	-	>100	70
Хлоргидрат триацетон амин	то же	-	до 250	-	>1	70
Фосфаты (дизатрий фосфат)	Терригенные с глинистостью не более 10 %	различные нефти	до 250	5-10	>10	150
Нитраты	Карбонатные и терригенные	То же	до 300	5-10	различная	250

Известно также применение в качестве меток радиоактивных изотопов в промышленности. Одним из примеров этого может служить следующий способ контроля износа поршневых колец в двигателях внутреннего сгорания. Облучая поршневое кольцо нейтронами, вызывают в нем ядерные реакции и делают его радиоактивным. При работе двигателя частички материала кольца попадают в смазочное масло. Исследуя уровень радиоактивности масла после определенного времени работы двигателя, определяют износ кольца. Радиоактивные изотопы позволяют судить о диффузии металлов, процессах в доменных печах и т.д. Данные метки также могут быть использованы в качестве меток для реализации предлагаемого способа.

Применяемые виды химических меток (маркеров-трассеров) следующие:

флуоресцентные трассеры;

ионные трассеры;

органические трассеры.

Различают метки цвета, а именно цветные;

свечения - хемилюминесцентные и флуоресцентные;

метки образования гетерофазы (в частном случае - осадка) и изменения ее свойств - осадкообразующие, помутнения и адсорбционные.

Из указанных индикаторов наиболее часто используют цветные метки.

Метки (маркеры-трассеры) используются для выявления факторов, сопутствующих их наличию, т.е. для определения флюида, поступающего в конкретную зону отметки принадлежности флюидов в емкостях.

Оборудование и технологии для определения меток различны согласно выбранным меткам по характеристикам.

Например, оборудование для определения наличия и концентрации меток радикального типа, флуоресцентных или цветных меток используют Системы капиллярного электрофореза "КАПЕЛЬ®-105М".

Капиллярный электрофорез КЭ (Capillary Electrophoresis, CE) - метод разделения, реализуемый в капиллярах и основанный на различиях в электрофоретических подвижностях заряженных частиц как в

водных, так и в неводных буферных электролитах. Буферные растворы (ведущие электролиты, рабочие буферы, background electrolyte, run buffer) могут содержать добавки (например, макроциклы, органические растворители, полимеры и др.), которые способны взаимодействовать с анализируемыми частицами и изменять их электрофоретическую подвижность.

Главной отличительной особенностью модели "КАПЕЛЬ®-105М" является спектрофотометрическое детектирование. В качестве источника света используется дейтериевая лампа, а в качестве диспергирующего элемента - дифракционный монохроматор со спектральным диапазоном 190-380 нм и шириной спектрального интервала 20 нм. Такой диапазон позволяет выбрать длину волны детектирования, наиболее чувствительную к целевым компонентам, что облегчает разработку новых методик и во многих случаях снижает предел обнаружения.

Имеются также другие специализированные лабораторные приборы и техники для определения выбранных меток (маркеров-трассеров) в веществах.

Пример реализации предлагаемого способа.

Разработчиками способа контроля коррозионных процессов были проведены испытания, которые доказывают промышленную применимость способа.

Испытания были проведены в ноябре 2016 г. на производственной базе ООО "КомиСеверТранзит". Проведение испытаний было согласовано с ООО "КомиСеверТранзит" 09.11.2016 г.

Оборудование для установки тестовых образцов было предоставлено ООО "КомиСеверТранзит". Монтаж оборудования проведен специалистами ООО "КомиСеверТранзит".

Метки (маркеры-трассеры) выбирали по следующим критериям:

- 1) уникальные характеристики для выделения;
- 2) экологическая и санитарно-эпидемиологическая безопасность;
- 3) высокая чувствительность при малом расходе материала;
- 4) отсутствие химической реакции с перекачиваемой средой;
- 5) низкая стоимость и доступность на рынке;
- 6) возможность одновременного определения разных меток по одной пробе;
- 7) возможность определения маркеров посредством доступных методов анализа.

В качестве меток выбрали карбамиды, которые были нанесены на образец 1 (стальной патрубок диаметром резьбы 73 мм, длиной 50 см), и роданиды аммония, которые были нанесены на образец 2 (стальной патрубок диаметром резьбы 73 мм, длиной 50 см).

На выкидную линию насоса, расположенного в насосном помещении, посредством переходных патрубков был установлен образец 1.

На входе в радиатор отопления, расположенный в складском помещении, посредством переходных патрубков был установлен образец 2.

Оборудование после установки образцов 1 и 2 было запущено в работу и выведено на постоянный режим.

Карбамид (мочевина) - метка, которая представляет собой белое мелкокристаллическое вещество. Карбамид кристаллизуется из воды в виде плоских призм, легко растворимых в спирте и воде, плавящихся при температуре 160-190°C. При нагревании до 200°C данное соединение превращается в циановокислый аммоний, а под воздействием более высоких температур при атмосферном давлении карбамид разлагается с образованием углекислоты, аммиака, циановой кислоты, биурета и других компонентов. Азот в состав карбамида входит в легкоусвояемой амидной форме. Азот в амидной форме хорошо усваивается листьями и корнями растений.

Роданид аммония - метка, которая растворяется в этиловом и метиловом спирте, жидком аммиаке, ацетоне. Вещество горюче и при нагревании выше +140°C превращается в тиомочевину, а при температуре +170°C полностью разлагается.

В качестве защитного слоя для образца 1 и образца 2 выбрали два слоя антикоррозийного покрытия на основе эпоксидных порошковых красок.

Местом отбора проб был определен сливной кран, расположенный по направлению потока, после мест установки образцов № 1, 2. Контроль содержания маркеров осуществляли прибором системы капиллярного электрофореза "КАПЕЛЬ®-105М".

Перед монтажом дополнительно провели замеры скорости потока, температуры теплоносителя, наличия маркеров-трассеров.

Отбор проб проводили в первые сутки каждые четыре часа, а в последующие дни один раз в сутки.

В момент появления в пробах метки (маркера-трассера) была остановлена перекачка флюида и проведена визуальная оценка состояния защитного слоя образца, метка которого была идентифицирована. После этого процесс перекачки был запущен вновь до появления метки образца 2. Далее было произведено тщательное визуальное обследование состояния защитного слоя на обоих образцах.

В результате опытных испытаний были получены следующие результаты, предоставленные в табл. 2.

Таблица 2

Дата и время измерения	Характеристики			Результат пробы		Примечание
	Давление на выходе, атм.	Расход м <sup>3</sup> /час	Температура на выходе, °С	Наличие маркера: Карбамид/роданиды аммония	Концентрация, (частиц/литр) К/РА	
1	2	3	4	5	6	7
09.11.16 12:00	5,0	1,5	63,0	-/-	0/0	Проба до проведения ОПИ.
10.11.16 12:00	5,0	1,5	63,0	-/-	0/0	Проба после установки образцов № 1, 2
10.11.16 16:00	5,0	1,5	63,0	-/-	0/0	
10.11.16 20:00	5,0	1,5	63,2	-/-	0/0	
11.11.16 0:00	5,0	1,5	62,8	-/-	0/0	
11.11.16 4:00	5,0	1,5	62,8	-/-	0/0	
11.11.16 8:00	5,0	1,5	63,0	-/-	0/0	
11.11.16 12:00	5,0	1,5	63,0	-/-	0/0	
12.11.16 12:00	5,0	1,5	63,0	К/-	11/0	Фиксация наличия в пробе метки (карбамид) Точка разрушения первого слоя защитного покрытия Образца №1. Остановка 13:00. Демонтаж. На внутренней поверхности образца визуально видны каверны. Монтаж. Запуск 14:00.
13.11.16 12:00	5,0	1,5	63,0	К/РА	17/30	Увеличение концентрации в пробе метки (карбамид). Фиксация наличия в пробе метки (роданиды аммония). Точка разрушения первого слоя защитного покрытия Образца №2.
14.11.16 12:00	5,0	1,5	63,0	К/РА	25/40	Увеличение концентрации меток с обоих образцов. Демонтаж образцов. На внутренней поверхности обоих образцов визуально видны каверны.

Затраты на реализацию опытных испытаний составили 18000 руб.

### Заключение

По результатам опытных испытаний видно, что работоспособность способа контроля коррозионных процессов посредством использования меток (маркеров-трассеров) полностью подтверждена.

Таким образом, потенциальными областями применения являются все отрасли экономической деятельности, в которых используется оборудование и материалы, внутренняя поверхность которых подвержена коррозионным процессам.

Преимущества предлагаемого способа контроля коррозионных процессов заключаются в следующем:

- возможность локализации места коррозии;
- возможность реализации способа без остановки оборудования для проведения работ и без выведения оборудования из технологического процесса;
- возможность реализации для широкого спектра оборудования;
- возможность реализации способа практически при любой внешней и внутренней среде;
- возможность более детального и эффективного планирования работ по выявлению коррозионных нарушений, своевременного ремонта или замены;
- оптимизация операционных расходов;
- низкая себестоимость способа;
- возможность контроля коррозионных процессов инженерных сетей и технологического оборудования в реальном времени и в местах, где до настоящего момента своевременная идентификация коррозионных процессов была недоступна.

Поставленная задача - создание способа контроля коррозионных процессов, а также малозатратного, информативного, надежного и эффективного способа определения дислокации и скорости распространения коррозионных нарушений в реальном времени, полностью защищенного от воздействия внешней среды и требующего минимум дополнительного оборудования для фиксации метки, при этом не требующего остановки оборудования, - выполнена.

Промышленная применимость доказана опытными испытаниями, проведенными авторами на производственной базе ООО "КомиСеверТранзит", г. Усинск, Республика Коми.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ контроля коррозионных процессов, включающий в себя нанесение метки, отличающийся тем, что метку наносят на внутреннюю поверхность исследуемого объекта, причем метку выбирают с возможностью нанесения на подверженную коррозии или разрушению поверхность, причем в качестве метки выбирают цветные и флуоресцентные вещества, или индикаторы радикального типа, или вещества с высоким поглощением тепловых нейтронов, или радиоактивные изотопы, причем аналоги указанной метки отсутствуют в составе рабочего флюида и метка обладает устойчивостью к рабочему флюиду, биологической и химической неактивностью по отношению к рабочему флюиду и поверхности, на которую наносят метку, а также устойчивостью к баротермическому воздействию, после чего указанную метку наносят на заранее определенные участки исследуемого объекта, после этого объект вводят в эксплуатацию, заполняя рабочим флюидом, и после того как начинается коррозионный процесс, метка, нанесенная на участки, подвергшиеся коррозии или разрушению, вместе с частицами металла или антикоррозионного покрытия, покрывавшего слой с метками, отслаивается от объекта, далее метка выходит в зону отбора флюида для контроля концентрации меток, которые определяют наличие, интервал, в котором произошла коррозия, и интенсивность коррозионного процесса.

2. Способ контроля коррозионных процессов по п.1, отличающийся тем, что на разные заранее намеченные участки объекта наносят различные по идентификации метки.

3. Способ контроля коррозионных процессов по п.1, отличающийся тем, что скорость коррозии определяют по концентрации количества меток в процессе исследования.

4. Способ контроля коррозионных процессов по п.1, отличающийся тем, что метку наносят на максимальную площадь возможной коррозии.

