



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01L 1/12 (2020.02); G01N 3/12 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019140936, 09.12.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.12.2019

Дата регистрации:
29.05.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.12.2019

(45) Опубликовано: 29.05.2020 Бюл. № 16

Адрес для переписки:

169313, Респ. Коми, г. Ухта, пр-кт А. Зерюнова,
2/1, АО "Транснефть-Север"

(72) Автор(ы):

Исламов Рустэм Рильевич (RU),
Агиней Руслан Викторович (RU),
Мамедова Эльмира Айдыновна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Публичное акционерное общество
"Транснефть" (ПАО "Транснефть") (RU),
Акционерное общество "Транснефть-Север"
(АО "Транснефть-Север") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2439530 C1, 10.01.2012. RU
2641511 C2, 17.01.2018. RU 2281468 C1,
10.08.2006. RU 2521714 C1, 10.07.2014. EP 389877
A1, 03.10.1990.

(54) Способ определения механических напряжений в стальном трубопроводе

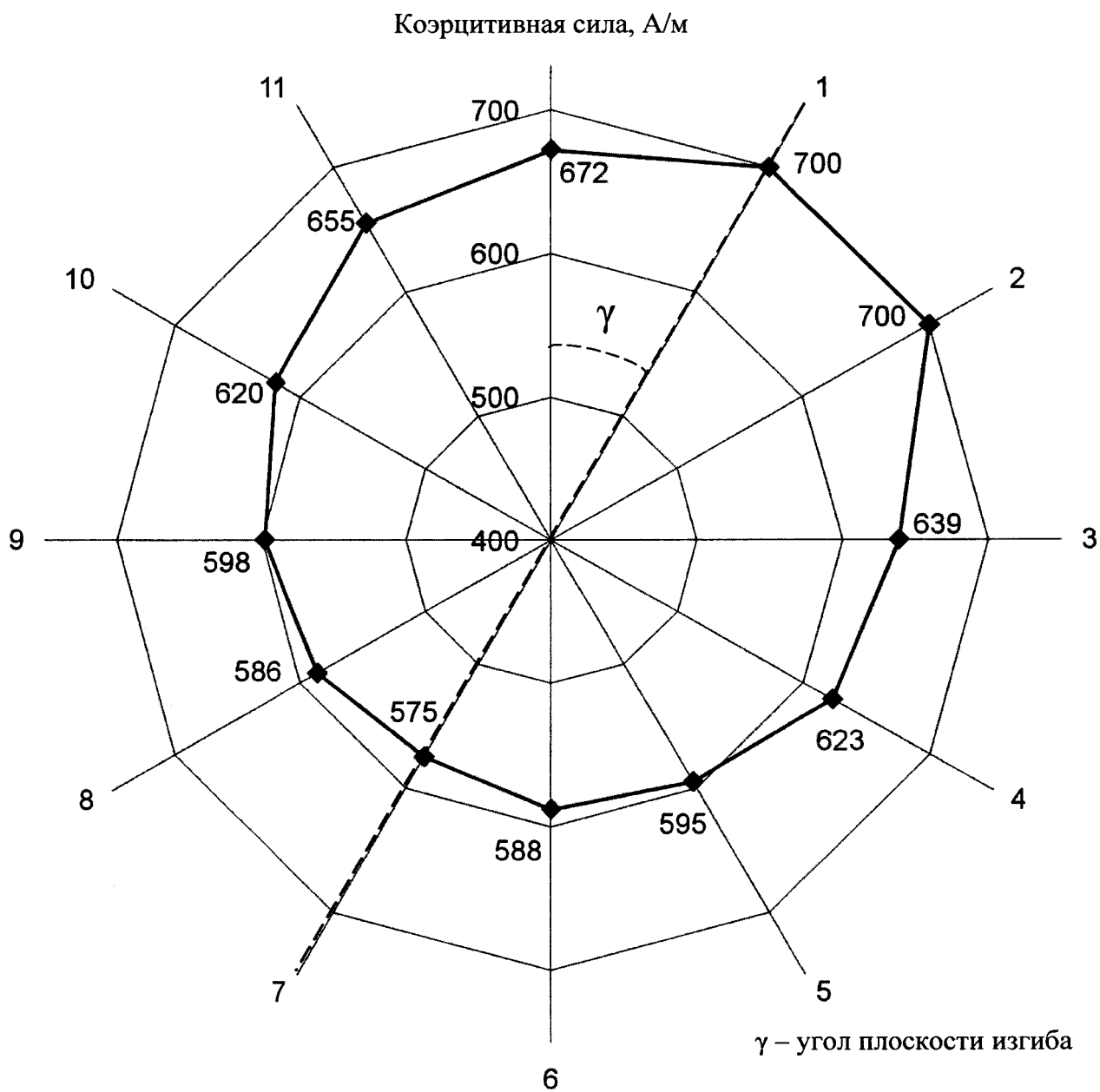
(57) Реферат:

Изобретение относится к области оценки технического состояния стальных трубопроводов и может быть использовано для определения механических напряжений, например, в стальных трубопроводах подземной прокладки. Сущность: осуществляют изготовление образца в виде полого цилиндра из материала, аналогичного материалу трубопровода, пошаговое нагружение образца созданием в нем избыточного внутреннего давления жидкой или газовой среды и его изгибом, получение зависимости коэрцитивной силы от величины механических напряжений в образце. Назначают две контрольные точки на окружности образца: одну - в зоне растяжения при изгибе, вторую - в зоне сжатия при изгибе. Нагружение образца производят одновременным действием изгиба и внутреннего давления среды. Измеряют коэрцитивную силу в контрольных точках, ориентируя датчик коэрцитиметра вдоль оси образца. Строят графики зависимости коэрцитивной силы H_c от изгибных напряжений

$\sigma_{изг}$, при различных давлениях среды $P_{вн}$. Определяют сечение трубопровода с потенциально высокими изгибными напряжениями. Намечают точки контроля окружности трубопровода в выбранном сечении, измеряют коэрцитивную силу в выбранных точках, ориентируя датчик коэрцитиметра таким образом, чтобы направление магнитного потока в датчике совпадало с осью трубопровода. Выбирают среди измеренных значений максимальное и минимальное, при этом эти значения должны относиться к диаметрально противоположным точкам сечения трубопровода, считают, что точка с минимальным значением коэрцитивной силы связана с зоной максимальных растяжений, с максимальным значением - с зоной максимального сжатия. Определяют угол плоскости изгиба, проходящей через точки максимальных растяжений и сжатия, измеряют давление в трубопроводе и определяют изгибные напряжения в трубопроводе при помощи полученной зависимости для

соответствующего давления. Технический результат: возможность определения механических напряжений в стенке стального трубопровода с учетом одновременного

воздействия поперечного изгиба и внутреннего давления транспортируемой среды, повышение достоверности способа, расширение его возможностей. 3 ил.



Фиг. 3



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01L 1/12 (2020.02); *G01N 3/12* (2020.02)

(21)(22) Application: **2019140936, 09.12.2019**

(24) Effective date for property rights:
09.12.2019

Registration date:
29.05.2020

Priority:

(22) Date of filing: **09.12.2019**

(45) Date of publication: **29.05.2020** Bull. № 16

Mail address:

**169313, Resp. Komi, g. Ukhta, pr-kt A. Zeryunova,
2/1, AO "Transneft-Sever"**

(72) Inventor(s):

**Islamov Rustem Rilevich (RU),
Aginej Ruslan Viktorovich (RU),
Mamedova Elmira Ajdynovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Publichnoe aktsionernoe obshchestvo
"Transneft" (PAO "Transneft") (RU),
Aktsionernoe obshchestvo "Transneft-Sever"
(AO "Transneft-Sever") (RU)**

(54) **METHOD OF DETERMINING MECHANICAL STRESS IN A STEEL PIPE**

(57) Abstract:

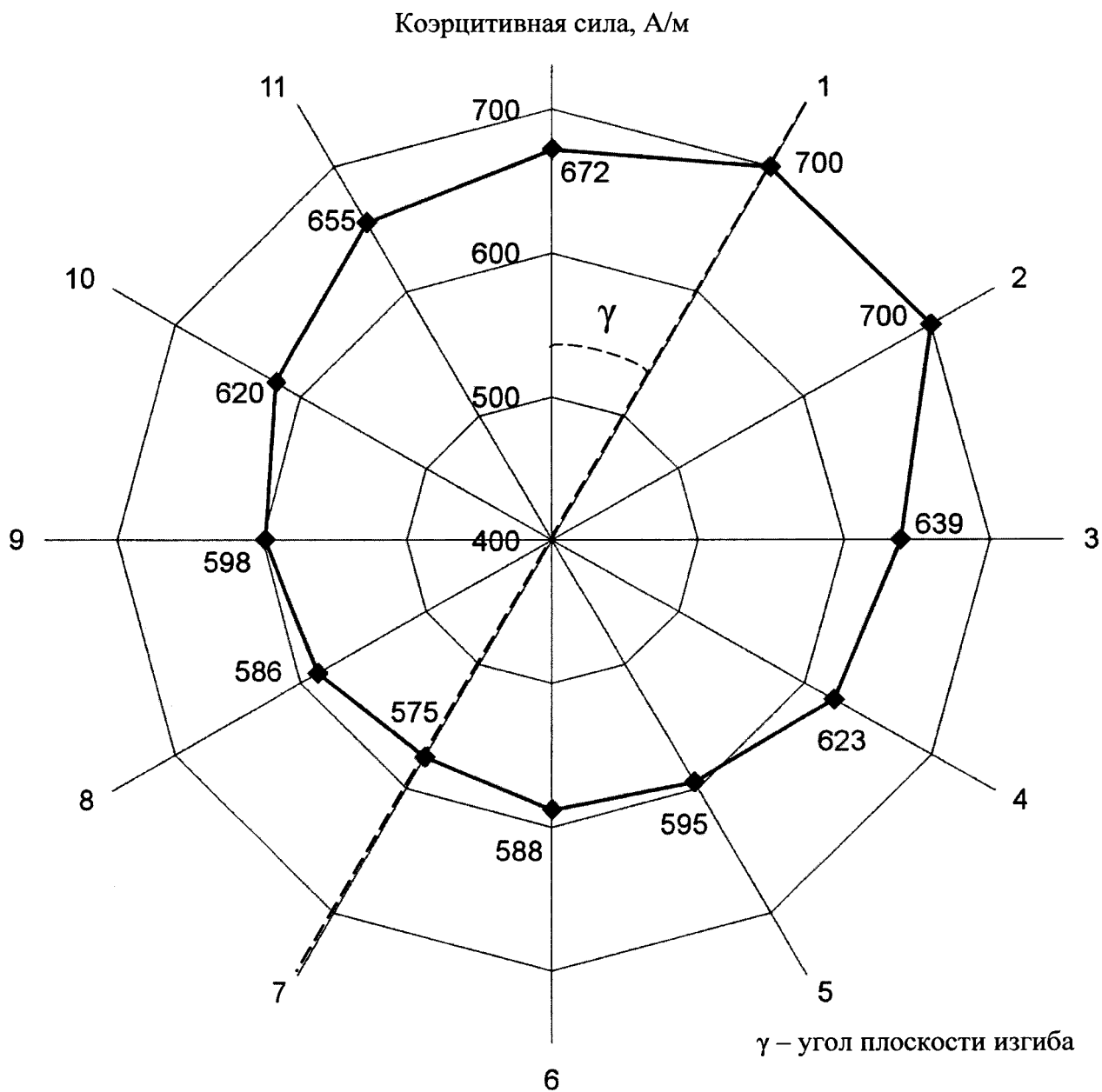
FIELD: measurement.

SUBSTANCE: invention relates to assessment of technical condition of steel pipelines and can be used for determination of mechanical stress, for example, in steel pipelines of underground laying. Method comprises making a sample in the form of a hollow cylinder from a material similar to the material of the pipeline, step-by-step loading of sample by creation in it of excess internal pressure of liquid or gaseous medium and its bending, obtaining dependence of coercive force on value of mechanical stresses in sample. Two control points are set on the sample circumference: one is in the bending stretching zone and the second one is in the bending compression zone. Sample is loaded by simultaneous action of bending and internal pressure of medium. Coercive force is measured at control points by aligning the coercimeter sensor along the sample axis. Curves of dependence of coercive force H_f on bending stresses are plotted σ_{bend} , at different pressures medium P_{ext} . Pipeline section with potentially high bending stress is determined. Pipeline

circle control points are marked in selected cross-section, coercive force is measured at selected points by aligning coercimeter sensor so that direction of magnetic flux in sensor is aligned with pipeline axis. Selecting maximum and minimum among measured values, note here that said values must refer to diametrically opposite points of pipeline cross-section. Note that point with minimum coercive force value is related to zone of maximum tension with maximum value of maximum compression zone. An angle of the bending plane passing through the points of maximum tension and compression is determined, pressure in the pipeline is measured and bending stresses in the pipeline are determined using the obtained relationship for the corresponding pressure.

EFFECT: possibility of determining mechanical stresses in the wall of a steel pipeline, taking into account simultaneous action of transverse bending and internal pressure of the transported medium, high reliability of the method and broader capabilities thereof.

1 cl, 3 dwg



Фиг. 3

Изобретение относится к области оценки технического состояния стальных трубопроводов и может быть использовано для определения механических напряжений, например, в стальных трубопроводах подземной прокладки.

Известен способ измерения механических напряжений в трубопроводах, работающих под давлением, в котором на контрольном образце трубопровода с нулевыми значениями продольных напряжений, в качестве которого выбирают прямолинейный подземный участок трубопровода, измеряют значения параметра магнитного шума, определяют пересчетный коэффициент пропорциональности, регистрируют значение параметра магнитного шума металла трубопровода в месте контроля и по их значениям судят о напряжениях в трубопроводе (Патент РФ №2116635, МПК G01L 1/12, G01N 27/83. Оpubл. 27.07.98. Бюлл. №21, С. 342.).

Недостатком способа является сложность выбора участка трубопровода с нулевыми продольными напряжениями, т.к. прямолинейность участка не гарантирует нулевые продольные напряжения в металле трубопровода, что снижает точность измерения напряжений.

Известен способ определения напряжений, основанный на получении при растяжении образцов металла с различной деградацией структуры, зависимостей анизотропии коэрцитивной силы от растягивающих напряжений в образцах и оценке напряжений в конструкции с помощью полученных зависимостей с учетом фактической структуры металла (Патент РФ №2281468 Заявл. 14.03.2005 г. Оpubл. 10.08.2006 г.).

Недостатком способа является невозможность определять напряжения при сложном напряженном состоянии металла конструкции. Например, для трубопроводов характерно плосконапряженное состояние стенок (осевые и кольцевые напряжения).

Наиболее близким к заявляемому способу является способ определения напряженного состояния стальных конструкций, взятый нами в качестве прототипа (Патент РФ №2439530, МПК G01N 3/08. Оpubл. 10.01.2012 г.).

В известном решении цилиндрические полые образцы металла из материала, аналогичного материалу конструкции, напряженное состояние которого необходимо определить, с определенным шагом нагружают внутренним давлением жидкой или газовой среды, находящейся внутри цилиндра, для создания плосконапряженного состояния, вызываемого растягивающими напряжениями в осевом и кольцевом направлениях, или изгибают образец для создания осевых напряжений растяжения-сжатия. Для каждого шага нагружения определяют напряжения в образце расчетным или другим способом, на каждом шаге нагружения измеряют коэрцитивную силу, при этом магнитный поток датчика коэрцитиметра ориентируют соосно с направлением определяемых напряжений. Строят зависимость коэрцитивной силы от напряжений в образце. Затем измеряют коэрцитивную силу металла конструкции, ориентируя датчик по направлению действия оцениваемых напряжений, и определяют напряжения с помощью полученной зависимости.

Недостатками известного способа являются:

1. неспособность определять напряжения в действующих трубопроводах при одновременном воздействии изгиба и внутреннего давления среды;
2. не определяет угол плоскости изгиба, определение которого является практически важной задачей;
3. недостаточная достоверность способа, так как фактические значения коэрцитивной силы металла стенок труб могут быть вызваны не только напряженным состоянием трубопровода в заданном сечении, но и влиянием сторонних факторов, вследствие чего происходит некорректная интерпретация результатов.

В качестве пояснения сообщаем следующее.

Напряженное состояние стенок тонкостенных труб трубопроводов приближенно является двухосным с двумя главными напряжениями: кольцевыми и продольными. Кольцевые напряжения в стенке труб возникают от внутреннего давления транспортируемой среды и их определение не вызывает трудностей по известным зависимостям, если известна величина давления среды. Эти напряжения условно постоянны по окружности рассматриваемого сечения трубы.

Продольные напряжения складываются из напряжений, обусловленных: 1. внутренним давлением среды (рассчитываются как доля от кольцевых); 2. температурными деформациями заземленного участка трубопровода (определяются расчетом); 3. изгибом, который вызван кривизной трассы для укладки трубопровода (например, кривизной траншеи). Также изгиб может быть связан с непроектными изменениями положения трубопровода (например, в результате его всплытия, перемещения вследствие оползневых процессов и др.).

Поэтому главной практической задачей определения напряженного состояния трубопроводов является оценка изгибных напряжений в потенциально опасных сечениях трубопровода. В отличие от других вышеперечисленных напряжений, изгибные напряжения характеризуются тем, что в различных точках по окружности рассматриваемого сечения трубы их значение различно, при этом, они максимальны по модулю в двух диаметрально противоположных точках сечения, через которые проходит плоскость изгиба. В одной точке изгибные напряжения отрицательные (сжимающие), в другой - положительные (растягивающие).

Наличие внутреннего давления изменяет продольные напряжения в стенке трубопровода, что ограничивает применение способа-прототипа на действующих трубопроводах, работающих под давлением.

Отмеченные особенности формирования напряженного состояния стенок труб использует предлагаемый способ, что позволяет решить поставленную техническую задачу.

Технической задачей изобретения является определение механических напряжений в стенке стального трубопровода с учетом одновременного воздействия поперечного изгиба и внутреннего давления транспортируемой среды, повышение достоверности способа, расширение его возможностей.

Поставленная задача решается тем, что в способе определения изгибных напряжений в стальных трубопроводах, включающем изготовление образца в виде полого цилиндра из материала, аналогичного материалу трубопровода, пошаговое нагружение образца созданием в нем избыточного внутреннего давления жидкой или газовой среды и его изгибом, получения зависимости коэрцитивной силы от величины механических напряжений в образце, согласно изобретения, назначают две контрольные точки на окружности образца: одну - в зоне растяжения при изгибе, вторую - в зоне сжатия при изгибе, нагружение образца производят одновременным действием изгиба и внутреннего давления среды, измеряют коэрцитивную силу в контрольных точках, ориентируя датчик коэрцитиметра вдоль оси образца, строят графики зависимости коэрцитивной силы H_c от изгибных напряжений $\sigma_{изг}$, при различных давлениях среды $P_{вн}$, определяют сечение трубопровода с потенциально высокими изгибными напряжениями, намечают точки контроля окружности трубопровода в выбранном сечении, измеряют коэрцитивную силу в выбранных точках, ориентируя датчик коэрцитиметра таким образом, чтобы направление магнитного потока в датчике совпадало с осью трубопровода, выбирают среди измеренных значений максимальное и минимальное,

при этом эти значения должны относиться к диаметрально противоположным точкам сечения трубопровода, считают, что точка с минимальным значением коэрцитивной силы связана с зоной максимальных растяжений, с максимальным значением - с зоной максимального сжатия, определяют угол плоскости изгиба, проходящей через точки
 5 максимальных растяжений и сжатия, измеряют давление в трубопроводе и определяют изгибные напряжения в трубопроводе при помощи полученной зависимости для соответствующего давления.

На фиг. 1 изображен цилиндрический образец для пошагового нагружения его изгибом и внутренним давлением среды и измерением коэрцитивной силы в точках
 10 контроля. На фиг. 1 отмечены: 1 - цилиндрический образец; 2 - торцевые заглушки; 3 - бетонные блоки; 4 - хомуты; 5 - домкрат; 6 - гибкий шланг насоса; 7 - динамометр; 8 - контрольное сечение; 9, 10 - точки контроля.

На фиг. 2 представлена зависимость $H_c = f(\sigma_{изг})$ коэрцитивной силы от величины продольных напряжений, вызванных действием поперечного изгиба и внутреннего
 15 давления для области сжатия и растяжения при давлении среды $P_{вн} = 4,5$ МПа.

На фиг. 3 изображена лепестковая диаграмма, на которой отмечены результаты изменения коэрцитивной силы по окружности в выбранном сечении, выполненные с шагом 1 час (30 град.).

Способ реализуют следующим образом. Из трубы, выполненной из материала,
 20 аналогичного материалу трубопровода, напряженное состояние которого необходимо определить изготавливают испытательный герметичный образец.

Заполняют образец испытательной средой. Выбирают контрольное сечение на образце, отмечают две точки контроля, одна из которых располагается в зоне
 25 максимального растяжения металла при изгибе, другая - в зоне максимального сжатия. Пошагово увеличивают изгибающую силу, создающую изгиб. При помощи коэрцитиметра на каждом шаге нагружения измеряют коэрцитивную силу, при этом магнитный поток датчика коэрцитиметра ориентируют соосно с осью трубопровода (продольно).

Нагнетают давление среды в образце. При выбранном давлении среды пошагово
 30 нагружают образец изгибом, на каждом шаге нагружения в контрольных точках выполняют измерение коэрцитивной силы.

Пошаговое нагружение изгибом и измерение коэрцитивной силы в контрольных точках выполняют для различных значений давлений среды.

Для каждого шага нагружения определяют изгибные напряжения в контрольных
 35 точках, например, расчетным методом или методом электротензоизмерений.

Строят зависимости коэрцитивной силы, измеренной в контрольных точках, от изгибных напряжений $H_c = f(\sigma_{изг})$ для различных значений внутреннего давления $P_{вн}$.
 На фиг. 2 изображен пример зависимости для давления $P_{вн} = 4,5$ МПа.

Определяют сечение трубопровода с потенциально высокими изгибными
 40 напряжениями, напряжения металла в котором необходимо определить.

Подготавливают поверхность трубопровода для проведения измерения коэрцитивной силы: откапывают трубопровод (при необходимости), снимают защитное покрытие (при необходимости).

В выбранном сечении отмечают несколько точек контроля, располагая их по всей
 45 окружности трубопровода.

Выполняют измерения коэрцитивной силы в контрольных точках, располагая датчик коэрцитиметра вдоль оси трубопровода.

Выбирают среди измеренных значений максимальное и минимальное, при этом эти измерения должны относиться к диаметрально противоположным точкам окружности трубопровода: точка, в которой значение коэрцитивной силы минимально, связана с зоной максимальных растяжений, а точка с максимальным значением коэрцитивной силы - с зоной максимального сжатия (фиг. 3). Через эти точки проходит плоскость изгиба с углом относительно вертикали γ .

Измеряют давление $P_{вн}$ в трубопроводе вблизи выбранного сечения.

Изгибные напряжения определяют по значениям коэрцитивной силы в контрольных точках при помощи зависимости $H_c = f(\sigma_{изг})$, полученной на образце для аналогичного давления $P_{вн}$.

Пример.

Необходимо определить продольные напряжения в действующем подземном нефтепроводе (диаметр 219 мм, толщина стенки трубы - 5 мм, материал - сталь 17Г1С), вызванные одновременным действием изгиба и внутреннего давления нефти. Образец для испытания изготавливают из трубы 1 (диаметр 219 мм, толщина стенки трубы - 5 мм, материал - сталь 17Г1С) с торцевыми заглушками 2. Общая длина образца - 10 м (фиг. 1).

Образец устанавливают на бетонные блоки 3, концы трубы укрепляют к блокам при помощи металлических хомутов 4. Устанавливают домкрат гидравлический бутылочный 5 производства ООО «Сервис ключ» грузоподъемностью 10 т. под центром станда, подсоединяют гибкий шланг 6 насоса опрессовочного НА-250 (максимальное давление 250 атм.) (на фиг. 1 не изображен) для создания внутреннего давления в образце. Между домкратом 5 и трубой 1 устанавливают динамометр электронный переносной ДЭПЗ 1Д-10Р-00 (фиг. 1. поз. 7). С учетом габаритных размеров датчика коэрцитиметра КМ 455.2 выбирают контрольное сечение 8 на образце в зоне максимальных изгибных напряжений, отстоящее от домкрата на расстоянии 200 мм, отмечают две контрольные точки с угловой ориентацией 6 часов (фиг. 1. поз. 9) и 12 часов (фиг. 1. поз. 10), соответствующие зоне максимального растяжения (12 часов - верх трубы) и максимального сжатия металла (6 часов - низ трубы).

Заполняют испытательный образец 1 водой.

Расчетным способом определяют, что максимальные напряжения в контрольных точках 9 и 10, не превышают 80% от предела прочности применяемой марки стали (предел прочности марки стали 17Г1С равен $\sigma_B = 510$ МПа) при усилии на домкрате 5 равном 13,5 кН, что соответствует поднятию штока домкрата на 72 мм, при этом максимально возможное давление среды составляет 4,5 МПа.

Устанавливают количество шагов нагружения испытательного образца: 10 шагов нагнетания внутреннего давления (от 0 до 4,5 МПа с шагом 0,5 МПа) и 10 шагов создания изгиба (ход штока домкрата - от 0 мм до 72 мм с шагом 8 мм).

Пошагово изгибают образец 1 относительно его продольной оси домкратом 5 (с шагом 8 мм), определяют реакцию домкрата при помощи динамометра 7 на каждом шаге испытаний. Измеряют коэрцитивную силу в контрольных точках 9, 10 на каждом шаге нагружения при помощи коэрцитиметра, при этом магнитный поток датчика прибора ориентируют соосно с направлением определяемых напряжений.

Нагнетают пошагово (с шагом 0,5 МПа) внутреннее давление воды в трубе. При выбранном давлении пошагово нагружают испытательный образец изгибом (с шагом 8 мм), на каждом шаге нагружения в контрольных точках выполняют измерение коэрцитивной силы в каждой контрольной точке вдоль действия растягивающих

напряжений.

Нагружают изгибом и измеряют коэрцитивную силу в контрольных точках для значений давления среды на каждом шаге.

5 Определяют значение величины изгибных напряжений, вызванных одновременным действием изгиба и внутреннего давления на стенку образца для зон сжатия и растяжения расчетным методом.

По полученным расчетным и экспериментальным данным строят зависимости коэрцитивной силы, измеренной в контрольных точках, от величины продольных напряжений $H_c = f(\sigma_{изг})$, для различных значений внутреннего давления $P_{вн}$ (фиг. 2).

10 Откапывают участок нефтепровода с потенциально высокими изгибными напряжениями, удаляют изоляцию. Устанавливают, что на момент измерения давление в нефтепроводе составляет 4,6 МПа.

15 Намечают сечение трубы для проведения контроля. В выбранном сечении отмечают 12 точек контроля, расположенных с шагом 1 час (30 град.) (12 часов - верх трубы, 6 часов - низ трубы) (фиг. 3). Измеряют коэрцитивную силу на каждой из выбранных точек, ориентируя датчик вдоль оси трубопровода.

Выбирают максимальное и минимальное значение. Строят лепестковую диаграмму (фиг. 3).

20 Устанавливают, что на лепестковой диаграмме (фиг. 3) имеются два максимальных значения коэрцитивной силы ($H_c = 700$ А/м), расположенных в ориентации 1 и 2 часа и одно минимальное ($H_c = 575$ А/м), расположенное в ориентации 7 часов. Поскольку точки 1 и 7 диаметрально противоположны, плоскость изгиба проходит через указанные точки с углом относительно вертикали γ .

25 Для определения напряженного состояния используют зависимость коэрцитивной силы от величины продольных напряжений $H_c = f(\sigma_{изг})$ для внутреннего давления $P_{вн} = 4,5$ МПа (фиг. 2).

По полученной зависимости (фиг. 2) определяют, что изгибные напряжения в зоне сжатия составляют около 56 МПа, в зоне растяжения - 110 МПа.

30 (57) Формула изобретения

Способ определения изгибных напряжений в стальных трубопроводах, включающий изготовление образца в виде полого цилиндра из материала, аналогичного материалу трубопровода, пошаговое нагружение образца созданием в нем избыточного внутреннего давления жидкой или газовой среды и его изгибом, получение зависимости коэрцитивной силы от величины механических напряжений в образце, отличающийся тем, что назначают две контрольные точки на окружности образца: одну - в зоне растяжения при изгибе, вторую - в зоне сжатия при изгибе, нагружение образца производят одновременным действием изгиба и внутреннего давления среды, измеряют коэрцитивную силу в контрольных точках, ориентируя датчик коэрцитиметра вдоль 40 оси образца, строят графики зависимости коэрцитивной силы H_c от изгибных напряжений $\sigma_{изг}$, при различных давлениях среды $P_{вн}$, определяют сечение трубопровода с потенциально высокими изгибными напряжениями, намечают точки контроля окружности трубопровода в выбранном сечении, измеряют коэрцитивную силу в выбранных точках, ориентируя датчик коэрцитиметра таким образом, чтобы 45 направление магнитного потока в датчике совпадало с осью трубопровода, выбирают среди измеренных значений максимальное и минимальное, при этом эти значения должны относиться к диаметрально противоположным точкам сечения трубопровода, считают, что точка с минимальным значением коэрцитивной силы связана с зоной

максимальных растяжений, с максимальным значением - с зоной максимального сжатия, определяют угол плоскости изгиба, проходящей через точки максимальных растяжений и сжатия, измеряют давление в трубопроводе и определяют изгибные напряжения в трубопроводе при помощи полученной зависимости для соответствующего давления.

5

10

15

20

25

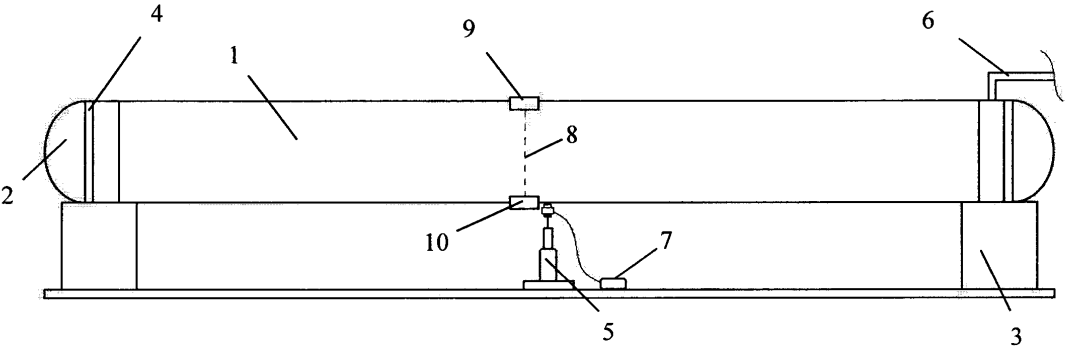
30

35

40

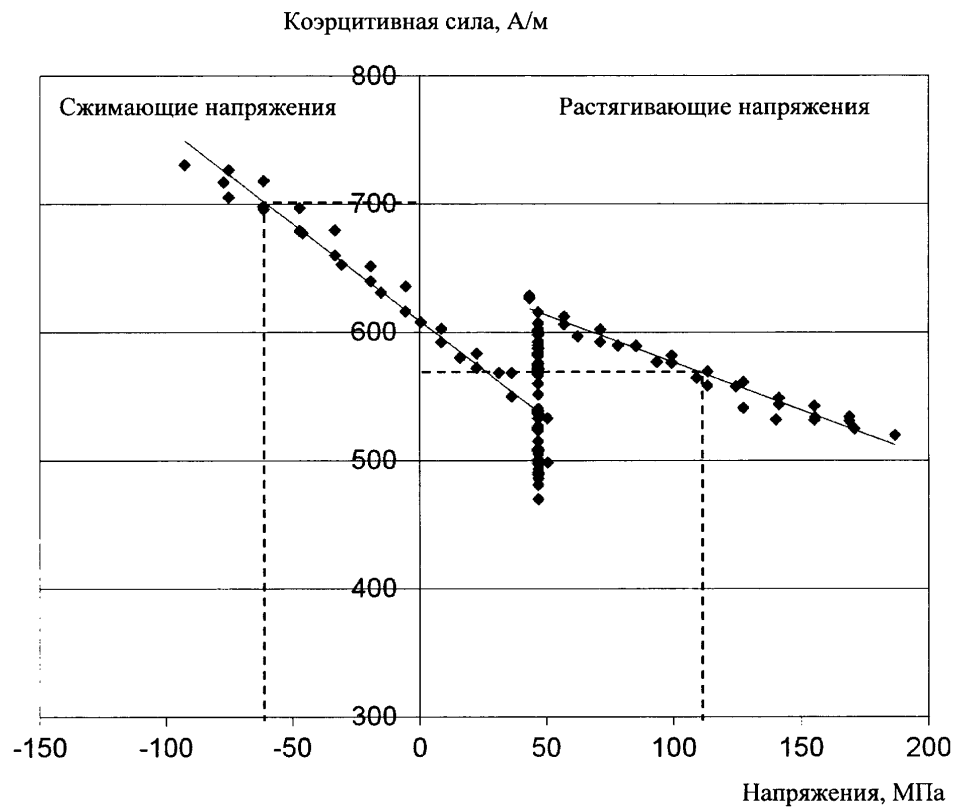
45

1

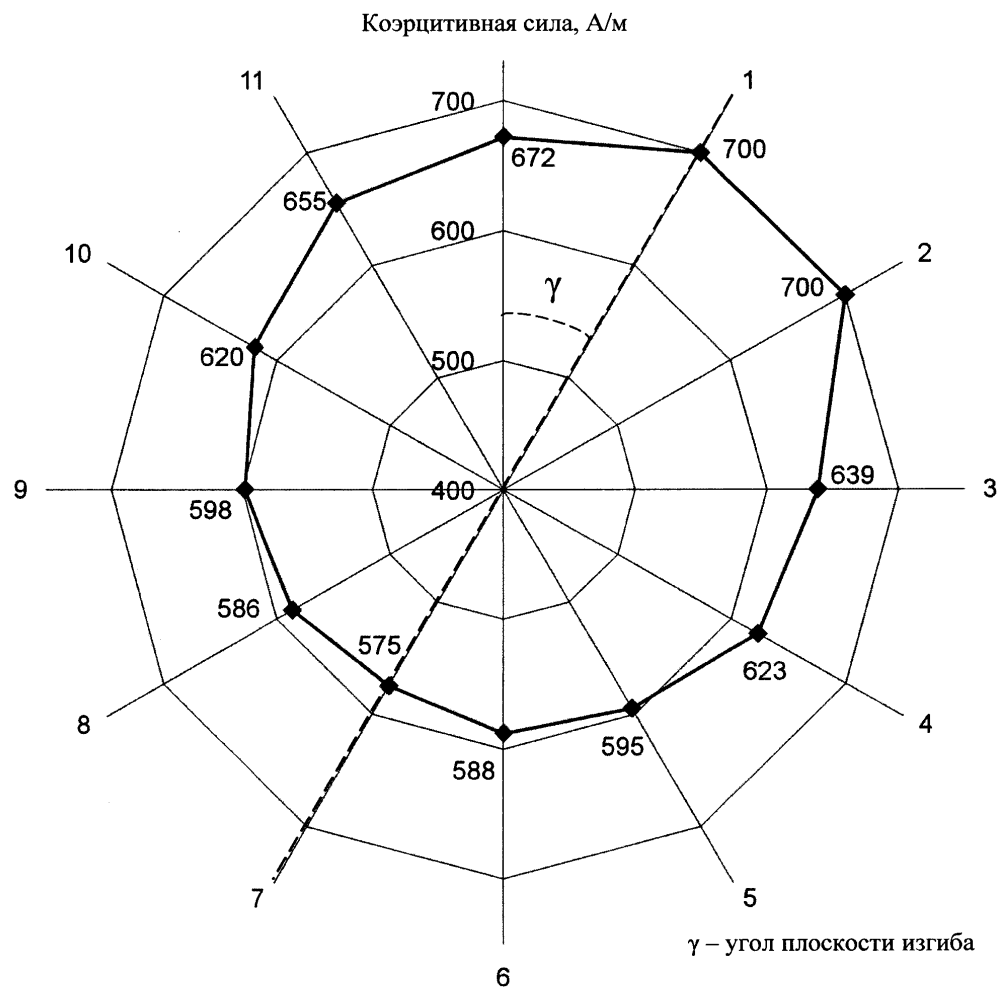


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3