

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2750417

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА

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

Авторы: *Фирстов Алексей Анатольевич (RU), Агиней Руслан Викторович (RU), Савченков Сергей Викторович (RU), Мамедова Эльмира Айдыновна (RU)*

Заявка № 2020139694

Приоритет изобретения 03 декабря 2020 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 28 июня 2021 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 03 декабря 2040 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01L 1/00 (2021.05); G01B 7/00 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2020139694, 03.12.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.12.2020

Дата регистрации:
28.06.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.12.2020

(45) Опубликовано: 28.06.2021 Бюл. № 19

Адрес для переписки:
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Фирстов Алексей Анатольевич (RU),
Агиней Руслан Викторович (RU),
Савченков Сергей Викторович (RU),
Мамедова Эльмира Айдыновна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

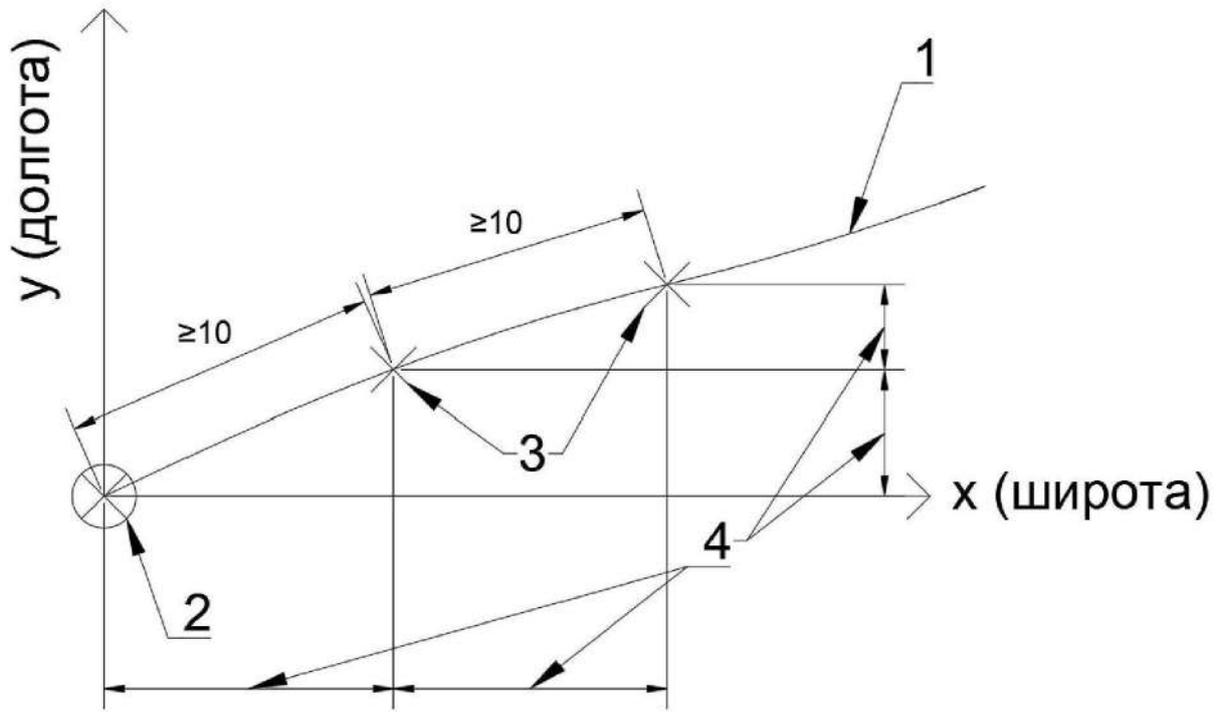
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: ВРД 39.1.10-026-2001, разработан
НТЦ "Ресурс газопроводов" и ООО
"ВНИИГАЗ", введен в действие 29.01.2001 г.
RU 88453 U1, 10.11.2009. RU 2558724 C2,
10.08.2015. CN 104990654 A, 21.10.2015. JP
3176629 A, 31.07.1991.

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для определения изгибных напряжений в стенке подземных магистральных нефтегазопроводов. Способ включает измерение глубины, широты и долготы заложения оси трубопровода с помощью трассопоискового оборудования в реперных точках измерений, и по полученным данным производится расчет локальных радиусов изгиба и изгибных напряжений на локальных участках подземного трубопровода. При этом измеренные значения глубины, широты и долготы заложения оси трубопровода в реперных точках имеют

погрешность, равную погрешности трассопоискового оборудования, и для получения расчетных значений изгибных напряжений с погрешностью, не превышающей заданную, необходимо подбирать шаг между реперными точками измерений. Технический результат - снижение погрешности определения изгибных напряжений в стенке подземного трубопровода за счет подбора шага между реперными точками измерений перед определением пространственного положения оси трубопровода. 2 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01L 1/00 (2006.01)
G01B 7/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01L 1/00 (2021.05); *G01B 7/00* (2021.05)

(21)(22) Application: **2020139694, 03.12.2020**

(24) Effective date for property rights:
03.12.2020

Registration date:
28.06.2021

Priority:

(22) Date of filing: **03.12.2020**

(45) Date of publication: **28.06.2021 Bull. № 19**

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "Sankt- Peterburgskij gornyj universitet",
Patentno-litsenziionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Firstov Aleksei Anatolevich (RU),
Aginei Ruslan Viktorovich (RU),
Savchenkov Sergei Viktorovich (RU),
Mamedova Elmira Aidynovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD FOR DETERMINING BENDING STRESS IN WALL OF UNDERGROUND PIPELINE**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measuring equipment and can be used to determine bending stresses in the wall of underground oil and gas pipelines. The method includes measuring the depth, latitude and longitude of the pipeline axis with the help of route-finding equipment at the reference points of measurements, and the obtained data is used to calculate the local bending radii and bending stresses in local sections of the underground pipeline. The measured values of the depth, latitude and longitude of the pipeline axis at the reference points have an error equal

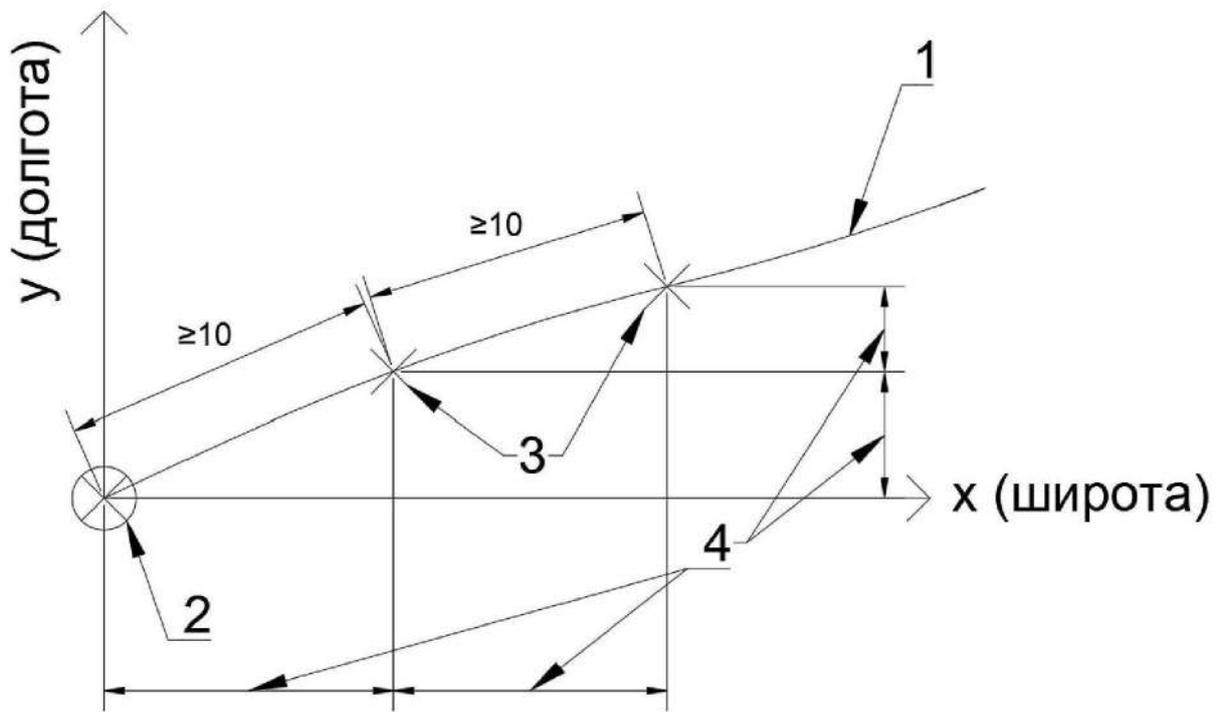
to the error of the tracing equipment, and in order to obtain the calculated values of bending stresses with an error not exceeding the specified one, it is necessary to select the step between the reference points of measurements.

EFFECT: invention reduces the error in determining bending stresses in the wall of an underground pipeline due to the selection of the step between the reference points of measurements before determining the spatial position of the pipeline axis.

1 cl, 2 dwg

RU 2 750 417 C1

RU 2 750 417 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для определения изгибных напряжений в стенке подземных магистральных нефтегазопроводов.

Известен способ выявления геодинамических зон, пересекающих магистральные трубопроводы (патент №2666387, опубл. 07.09.2018), заключающийся в использовании внутритрубных инспекционных снарядов для определения локальных радиусов изгиба трубопровода по изгибу его оси, на основании полученных данных рассчитывается значение изгибных напряжений в стенке трубопровода.

Недостатками данного способа являются низкая периодичность контроля (раз в 2-3 года), сложная и долгая интерпретация результатов обследования, что ограничивает применимость данного способа.

Известен способ определения радиуса изгиба и изгибных напряжений (Зайцев Н.Л., Бикбулатов А.Л., Багманов Р.Р «Методы измерения радиуса кривизны и изгибных напряжений в трубопроводах», журнал «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов», №2(100), 2015 г.), заключающийся в использовании измерителя стрелы прогиба и расчете по его показаниям значений радиусов изгиба и изгибных напряжений. Недостаток данного способа заключается в измерении стрелы прогиба по верхней образующей трубопровода, в результате чего необходимо производство вскрышных работ. Вторым недостатком данного способа заключается в вычислении радиусов изгиба и изгибных напряжений по конечно-элементной модели, что фактически не применимо для протяженных конструкций.

Известен способ определения относительного перемещения трубопровода по результатам двух и более инспекционных пропусков диагностического комплекса для определения положения трубопровода (патент №2558724, опубл. 10.08.2015), позволяющий определить радиусы изгиба участка трубопровода с помощью пропуска по нему внутритрубных инспекционных снарядов со специальными техническими устройствами, записывающими данные о положении участка трубопровода в пространстве.

К недостатку данного способа относится наличие «слепых зон» на участках трубопровода с очень маленькими (менее 100 диаметров трубопровода) и очень большими (более 1000 диаметров трубопровода) радиусами изгиба, что существенно сокращает применимость способа.

Известен способ измерения радиуса кривизны трубопровода по данным геодезических измерений (патент РФ №2592733, опубл. 09.12.2014), заключающийся в том, что определение радиусов изгиба в вертикальной и(или) горизонтальной плоскостях производится путем формирования опорной прямой и измерения с помощью средств геодезических измерений радиусов изгиба. По полученным данным на основе аналитических формул производится пересчет значений.

К недостатку способа можно отнести то, что реализации данного способа измерения производятся на верхней образующей трубопровода, что требует его полной шурфовки на исследуемом участке.

Известен способ обнаружения изгибных напряжений (патент №2452943, опубл. 10.06.2010), заключающийся в намагничивании участка трубопровода до образования двух ярко выраженных магнитных полюсов и последующего измерения магнитного поля в точках на границах поперечного сечения вдоль длины изделия, по разности величин магнитной индукции производится оценка изгибных напряжений в конструкции.

Недостатком данного способа является требования по предварительному намагничиванию изделия, что малоприменимо для подземных магистральных

трубопроводов из-за необходимости производства вскрышных работ.

Известен способ оценки фактического положения и состояния подземных трубопроводов (ВРД 39.1.10-026-2001, разработан НТЦ «Ресурс газопроводов» и ООО «ВНИИГАЗ», введен в действие 29.01.2001г) принятый за прототип, заключающаяся в определении пространственного положения оси трубопровода пошаговым определением глубины заложения, альтитуды, широты и долготы точек оси трубопровода в местах изменения рельефа местности через каждые 50-100 м, определении локальных радиусов изгиба трубопровода по изгибу его оси и определении изгибных напряжений в стенке трубопровода по полученным данным локальных радиусов изгиба трубопровода.

Недостатком данного способа является существенная погрешность в определении изгибных напряжений вследствие влияния факторов погрешности используемого оборудования и конструктивных особенностей трубопровода. Например, при использовании данной методики погрешность в измерении изгибных напряжений для трубопровода с диаметром 1420мм, проложенного на глубине 3 м до оси от поверхности земли и проведении съемки пространственного положения оси трубопровода с использованием трассоискателя БИТА-1 составит 70 МПа. Для трубопроводов диаметром менее 720 мм данная методика должна использоваться в совокупности с априорными знаниями о профиле трассы подземного трубопровода, иначе возможен пропуск участка трубопровода с радиусами изгиба до 500D.

Техническим результатом является снижение погрешности определения изгибных напряжений в стенке подземного трубопровода за счет подбора шага между реперными точками измерений перед определением пространственного положения оси трубопровода.

Технический результат достигается тем, что на исследуемом участке трубопровода предварительно определяют диапазон изменения глубины заложения оси подземного трубопровода и погрешность оборудования в определении глубины, широты и долготы заложения оси трубопровода и на основании полученных данных рассчитывают шаг между реперными точками измерений для определения пространственного положения оси трубопровода.

Способ поясняется следующей фигурой:

фиг. 1 - схема определения погрешности трассопоискового оборудования при съемке глубины, широты и долготы участка подземного трубопровода;

фиг. 2 - график подбора шага между точками измерений, где:

1 - исследуемый участок трубопровода;

2 - начальная точка измерений;

3 - дополнительные точки измерений;

4 - истинное расстояние между точками измерений по широте и долготе.

Способ реализуется следующим образом. Предварительно на исследуемом участке трубопровода 1 (фиг. 1) по данным последней внутритрубной диагностики и данным проектной документации на строительство определяют: диаметр трубопровода, диапазон изменения глубины заложения оси трубопровода, линейные координаты отводов холодного гнущего, вставок трубопроводов различного диаметра, отводов и тройников. После этого устанавливают начальную точку измерений 2, выбирают не менее двух дополнительных точек измерений 3 на расстоянии не менее 10 м друг от друга с одинаковой альтитудой, во всех точках измерений измеряют истинную глубину заложения оси трубопровода с помощью локальной шурфовки и любого доступного средства измерений. В двух дополнительных точках измерений 3 дополнительно измеряют истинное расстояние между точками измерений по широте и долготе 4 от

начальной точки измерений и друг друга по смежным осям координат с помощью рулетки. Определяют погрешность в измерении глубины, широты и долготы путем пятикратного измерения глубины, широты и долготы заложения оси трубопровода в выбранных точках и сравнения с истинным расстоянием между точками измерений по широте и долготе 4. Затем, выбирают максимальную требуемую погрешность в определении изгибных напряжений согласно предъявляемым к исследованиям требованиям точности и подбирают шаг между точками измерений, откладывая по оси ординат фиг. 2 требуемую максимальную погрешность в определении изгибных напряжений, далее производят съемку глубины, широты и долготы оси исследуемого участка подземного трубопровода с подобранным шагом. На основе полученных данных определяют локальные радиусы изгиба трубопровода по изгибу его оси по формуле:

$$\rho_i^{\text{расч}} = \frac{a_i b_i c_i}{\sqrt{(a_i + b_i + c_i) \cdot (-a_i + b_i + c_i) \cdot (a_i - b_i + c_i) \cdot (a_i + b_i - c_i)}}; \quad (1)$$

$$a_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2};$$

$$b_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2};$$

$$c_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_{i-1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2};$$

где x_i, x_{i-1}, x_{i+1} - расстояние между реперными точками измерений;

y_i, y_{i-1}, y_{i+1} - глубина заложения трубопровода в данных реперных точках измерений.

Расчетные значения изгибных напряжений в стенке подземного трубопровода по локальным радиусам изгиба оси трубопровода определяют по формуле:

$$\sigma_i^{\text{расч}} = \frac{E \cdot D_n}{2 \cdot \rho_i}; \quad (2)$$

где E – модуль Юнга, МПа;

D_n – наружный диаметр трубопровода, м;

ρ_i – радиус кривизны участка трубопровода, м.

Результатом выполнения способа является определение изгибных напряжений в стенке подземного трубопровода с заданной на этапе подготовке к проведению исследования точностью определения изгибных напряжений.

Способ поясняется следующими примерами. Участок подземного магистрального трубопровода Бованенково-Ухта между отметками 1000 м и 1150 м пролегает в сложных инженерно-геологических условиях. С целью принятия превентивных мер необходим мониторинг положения оси трубопровода и определение уровня изгибных напряжений с периодичностью 2 раза в год. Для подземного трубопровода целесообразно использовать способ определения изгибных напряжений в стенке трубопровода с поверхности грунта. Максимальная погрешность в определении изгибных напряжений

должна составлять не более $\Delta\sigma_{max} \leq 50$ МПа.

Согласно данным последней внутритрубной диагностики, на данном участке отсутствуют отводы холодного гнущего, тройники, вставки разного диаметра и иные отводы, глубина заложения участка трубопровода изменяется в диапазоне от 2,7 до 3 м. Диаметр трубопровода согласно проектной документации $D_H = 1420$ мм.

Устанавливается начальная точка измерений на отметке 1000 м, выбираются еще две точки с расстоянием от начальной точки и друг друга в 10 м, во всех точках известна истинная глубина заложения оси трубопровода, для двух точек (за исключением начальной) дополнительно известно истинное расстояние по осям между данными точками измерений и начальной точкой измерений. Относительная высота измеряется с помощью альтиметра и равняется 80 м. В точках производится съемка глубины, широты и долготы заложения оси трубопровода с помощью трассоискателя БИТА-1, значения сравниваются с истинными значениями глубины, широты и долготы оси заложения трубопровода, согласно сравнениям погрешность определения глубины, широты и долготы равняется не более $\pm 5\%$, по полученным значениям погрешности и с учетом максимальной погрешности в определении изгибных напряжений подбирается экспериментальный шаг между точками измерений согласно фиг. 2.

При заданных начальных условиях максимальной погрешности в определении изгибных напряжений в качестве экспериментального шага можно принять $L \geq 43$ м, однако учитывая протяженность участка контроля целесообразно принять $L = 100$ м. Для подобранного шага проверяется условие:

$$L \leq \frac{R_{\text{крит}}}{2}, \quad (3)$$

где L - шаг между точками измерений, используемый при съемке глубины заложения оси трубопровода, м;

$R_{\text{крит}}$ – критический радиус кривизны трубопровода, м.

$$100 \leq \frac{250 \cdot 1,42}{2} = 177,5 \text{ м}$$

С подобранном шагом производится съемка глубины, широты и долготы оси заложения исследуемого участка трубопровода, расчетные радиусы локальных участков изгиба трубопровода по изгибу точек его оси определяется по формуле:

$$\rho_i^{\text{расч}} = \frac{a_i b_i c_i}{\sqrt{(a_i + b_i + c_i) \cdot (-a_i + b_i + c_i) \cdot (a_i - b_i + c_i) \cdot (a_i + b_i - c_i)}}; \quad (1)$$

$$a_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2};$$

$$b_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2};$$

$$c_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_{i-1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2};$$

где x_i, x_{i-1}, x_{i+1} – расстояние между реперными точками измерений;

y_i, y_{i-1}, y_{i+1} – глубина заложения трубопровода в данных реперных точках

измерений.

$$a = 100,0731;$$

$$b = 100,0731;$$

$$c = 200;$$

$$\rho^{\text{расч}} = \frac{100,0731 \cdot 100,0731 \cdot 200}{\sqrt{(400,1463) \cdot (200) \cdot (200) \cdot (0,14629)}} = 1309\text{м};$$

Расчет изгибных напряжений в стенке подземного трубопровода на локальных участках по данным локальных радиусов изгиба трубопровода производится по следующей формуле:

$$\sigma_i^{\text{расч}} = \frac{E \cdot D_n}{2 \cdot \rho_i}, (2)$$

где E – модуль Юнга, МПа;

D_n – наружный диаметр трубопровода, м;

ρ_i – радиус кривизны участка трубопровода, м.

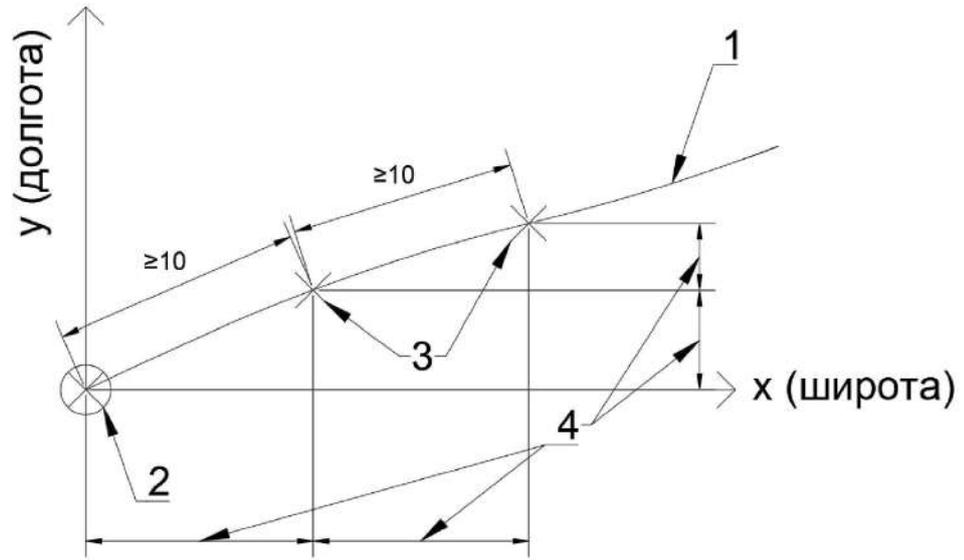
$$\sigma^{\text{расч}} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,42}{2 \cdot 1039} = 105 \text{ МПа}$$

Заявленный способ позволяет без непосредственного доступа к образующей подземного трубопровода в произвольный момент времени и с произвольной периодичностью определить изгибные напряжения на локальных участках в стенке подземного трубопровода с заданной на этапе подготовки к исследованию точностью определения изгибных напряжений в стенке подземного трубопровода.

(57) Формула изобретения

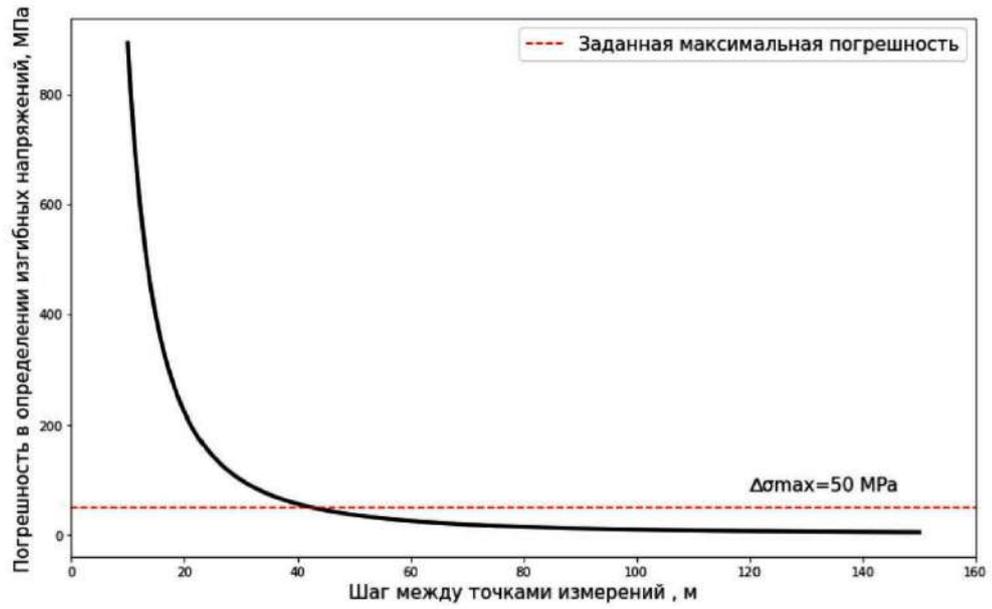
Способ определения изгибных напряжений в стенке подземного трубопровода, включающий определение диаметра трубопровода на исследуемом участке, определение линейных координат отводов холодного гнущя, вставок трубопроводов различного диаметра, отводов и тройников, определение пространственного положения оси трубопровода пошаговым определением глубины заложения, долготы и широты точек оси трубопровода, определение локальных радиусов изгиба трубопровода по изгибу его оси, последующий расчет изгибных напряжений в стенке подземного трубопровода на локальных участках по полученным данным локальных радиусов изгиба трубопровода, отличающийся тем, что на исследуемом участке трубопровода предварительно определяют диапазон изменения глубины заложения оси подземного трубопровода и погрешность оборудования в определении глубины, широты и долготы заложения оси трубопровода и на основании полученных данных рассчитывают шаг между реперными точками измерений для определения пространственного положения оси трубопровода.

1



Фиг. 1

2



Фиг. 2