

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2791795

СПОСОБ РЕМОНТА ДЕФЕКТНЫХ УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

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

Авторы: *Сидоркин Дмитрий Иванович (RU), Шаммазов Ильдар Айратович (RU), Джемилёв Энвер Русланович (RU), Пшенин Владимир Викторович (RU)*

Заявка № 2022131128

Приоритет изобретения **30 ноября 2022 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **13 марта 2023 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **30 ноября 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F16L 1/028 (2023.01); F16L 1/10 (2023.01)

(21)(22) Заявка: 2022131128, 30.11.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.11.2022

Дата регистрации:
13.03.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.11.2022

(45) Опубликовано: 13.03.2023 Бюл. № 8

Адрес для переписки:

190106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия,
ФГБОУ ВО СПбГУ, Патентно-лицензионный
отдел

(72) Автор(ы):

Сидоркин Дмитрий Иванович (RU),
Шаммазов Ильдар Айратович (RU),
Джемилёв Энвер Русланович (RU),
Пшенин Владимир Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

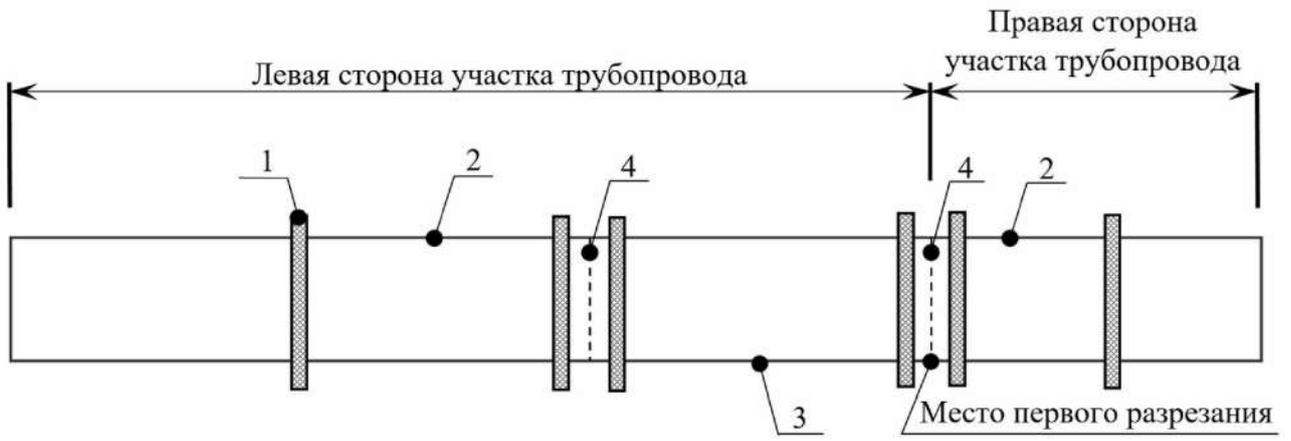
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2708758 C2, 11.12.2019. RU
2740329 C1, 13.01.2021. RU 2529972 C2,
10.10.2014. RU 2010113955 A, 20.10.2011. RU
2686133 C1, 24.04.2019. RU 2610798 C2,
15.02.2017. RU 2690997 C1, 07.06.2019.

(54) СПОСОБ РЕМОНТА ДЕФЕКТНЫХ УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к ремонту магистральных нефте- и газопроводов путем замены дефектного участка трубопровода. Способ ремонта заключается в локализации дефектного участка, его откапывании, фиксировании трубопровода фиксирующими устройствами, вырезке, центровке концов трубопровода, и замене. После откапывания трубопровода проводят геодезические измерения его высотного-планового положения в ремонтном котловане. Путем аппроксимации измерений полиномом четвертой степени получают значения его коэффициентов. На основе этих значений и данных о материале стенки трубопровода, его длине, наружном и внутреннем диаметрах, длинах левой и правой сторон участка трубопровода по краям одного из мест разрезания трубопровода, а также количестве устанавливаемых на трубопровод устройств фиксирования и центрирования и горизонтальных координатах мест их установки, определяют величины сил

реакций, которые возникают в силовых цилиндрах при резком смещении концов трубопровода. Затем определяют величины максимальных напряжений, которые возникают в стенке трубопровода при центрировании его концов. При превышении величин сил реакций в силовых цилиндрах и максимальных напряжений, возникающих в стенке трубопровода, их допустимых значений, срабатывает система оповещения. После чего проводят дополнительное откапывание ремонтируемого участка и геодезические измерения высотного-планового положения трубопровода. Устройства фиксирования и центрирования устанавливают по краям от каждого места разрезания трубопровода на расстоянии не менее 0,5 м. Способ позволяет обеспечить производственную безопасность процесса ремонта за счет фиксирования положения концов трубопровода перед его разрезанием и их центрирования перед приваркой нового участка. 6 ил., 3 табл.



Фиг. 1

RU 2791795 C1

RU 2791795 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
F16L 1/028 (2023.01); F16L 1/10 (2023.01)

(21)(22) Application: **2022131128, 30.11.2022**

(24) Effective date for property rights:
30.11.2022

Registration date:
13.03.2023

Priority:

(22) Date of filing: **30.11.2022**

(45) Date of publication: **13.03.2023** Bull. № 8

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, FGBOU
VO SPbGU, Patentno-litsenziionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Sidorkin Dmitrii Ivanovich (RU),
Shammazov Ildar Airatovich (RU),
Dzhemilev Enver Ruslanovich (RU),
Pshenin Vladimir Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD FOR REPAIRING DEFECTIVE SECTIONS OF MAIN PIPELINES**

(57) Abstract:

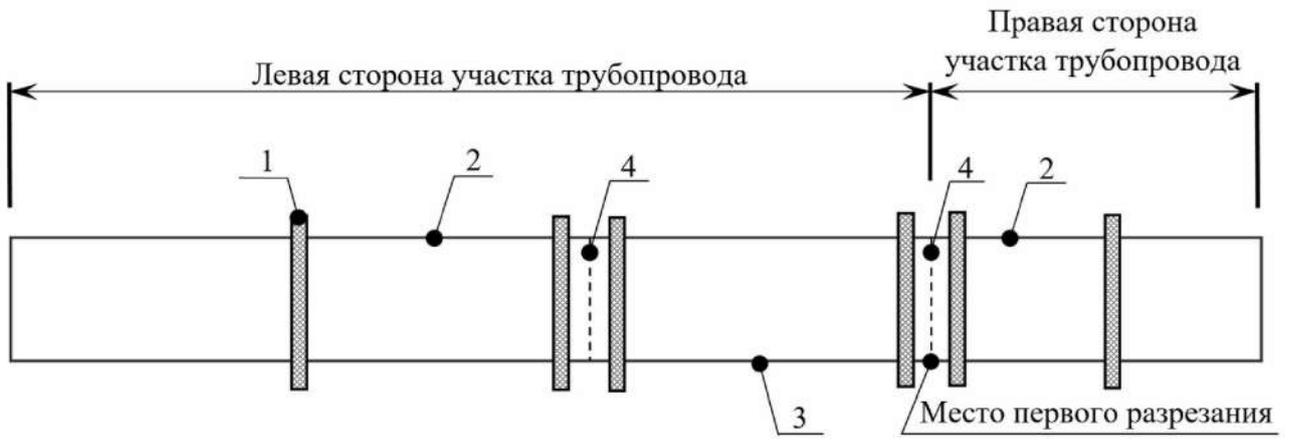
FIELD: oil and gas pipelines.

SUBSTANCE: repair of main oil and gas pipelines by replacing the defective section of the pipeline. The method of repair consists in localizing the defective section, digging it out, fixing the pipeline with fixing devices, cutting, centering the ends of the pipeline, and replacing it. After digging out the pipeline, geodetic measurements of its vertical and planned position in the repair pit are carried out. By approximating the measurements by a polynomial of the fourth degree, the values of its coefficients are obtained. Based on these values and data on the pipeline wall material, its length, outer and inner diameters, the lengths of the left and right sides of the pipeline section along the edges of one of the pipeline cutting points, as well as the number of fixing and centering devices installed on the pipeline and the horizontal coordinates of their installation sites, determine the magnitude of the

reaction forces that occur in the power cylinders with a sharp displacement of the pipeline ends. Then, the values of the maximum stresses that occur in the pipeline wall when its ends are centered, are determined. When the values of the reaction forces in the power cylinders and the maximum stresses arising in the pipeline wall exceed their permissible values, the warning system is triggered. After that, additional digging of the repaired area and geodetic measurements of the altitude-planned position of the pipeline are carried out. Fixing and centering devices are installed along the edges from each pipeline cutting point at a distance of at least 0.5 m.

EFFECT: ensuring the industrial safety of the repair process by fixing the position of the pipeline ends before cutting it and centering them before welding a new section.

1 cl, 6 dwg, 3 tbl



Фиг. 1

RU 2791795 C1

RU 2791795 C1

Изобретение относится к ремонту магистральных нефте- и газопроводов путем замены дефектного участка трубопровода.

Известен способ замены дефектного участка трубопровода (патент RU №2690997, опубл. 07.06.2019 г.), включающий обнаружение дефектного участка, оценку напряженно-деформированного состояния дефектного участка трубопровода, вырезку дефектного участка, центрирование труб, разметку, установку и сварку ремонтной «катушки» с трубами трубопровода, отличающийся тем, что при оценке напряженно-деформированного состояния дефектного участка трубопровода определяют вид его упругой деформации и производят на дефектном участке следующие сквозные надрезы: при деформации сжатия продольные надрезы, относительно продольной оси трубопровода, при деформации растяжения и/или кручения надрезы в виде витков спирали относительно продольной оси трубопровода, при деформации изгиба поперечные надрезы со стороны действия растягивающих напряжений, причем упомянутые надрезы производят до высвобождения упругой деформации дефектного участка трубопровода.

Недостатком способа является то, что высвобождение упругой деформации при высоких значениях величин упругих напряжений может происходить с высокой скоростью, что снижает уровень производственной безопасности, а также может приводить к поломке режущего оборудования. К тому же, создание многочисленных надрезов в стенке трубопровода существенно увеличивает время производства ремонтных работ.

Известен способ ремонта трубопроводов (патент RU №2610798, опубл. 15.02.2017 г.), включающий вварку «катушки» трубы, отличающийся тем, что перед вырезкой трубопровод фиксируют по меньшей мере одним фиксирующим устройством на расстоянии не менее 100 мм от края вырезаемого элемента, измеряют усилия удержания трубопровода, возникающие в фиксирующем устройстве, до и/или после вырезки и предупреждают персонал соответствующим сигналом системы управления фиксирующим устройством о приближении к критическим значениям напряжений в металле трубопровода и/или автоматически ограничивают усилия.

Недостатком способа является то, что установка устройства на трубопровод осуществляется без предварительной оценки возможных нагрузок на фиксирующие устройства при резком смещении концов трубопровода при его разрезании, что при высоких значениях изгибных напряжений может приводить к повреждению устройств.

Известен способ ремонта потенциально опасного участка газопровода (патент RU №2686133, опубл. 24.04.2019 г.), заключающийся в оценке его напряженно-деформированного состояния с последующим ремонтом, отличающийся тем, что средствами внутритрубной диагностики производят определение на надземном переходе расчетной точки с минимальным радиусом изгиба, проводят разрезку надземного перехода в расчетной точке, измерение средствами геодезии углов отклонения разрезанных концов трубопровода, определяя возникшее перекрестие осей, при этом угол перекрестия осей назначают углом отвода холодного гнущего и проводят симметричную врезку отвода холодного гнущего, при этом обеспечивая нормативные изгибные напряжения надземного перехода магистрального газопровода, без косых стыков.

Недостатком способа является применение данных внутритрубной диагностики для определения точки с минимальным радиусом упругого изгиба участка трубопровода, так как проведение внутритрубной диагностики возможно не на всех участках магистрального трубопровода ввиду их возможной непроходимости внутритрубным

снарядом, а также выбор для разрезания трубопровода сечения с наименьшим на ремонтируемом участке радиусом упругого изгиба не обеспечивает устранения резкого смещения концов трубопровода при его резке.

Известен способ ремонта линейного участка трубопровода на слабонесущих грунтах (заявка на изобретение RU №2010113955, опубл. 20.10.2011 г.), заключающийся в локализации аварийного участка, вскрытии, вырезке дефектного участка трубопровода, совмещение кромок и центрирование нового участка с прилегающими участками трубопровода путем подъема и опускания концов последнего с помощью гидроцилиндров, смонтированных на траверсах, соединяющих по меньшей мере, две пары винтовых свай, установленных с каждой стороны заменяемого участка по краям трубопровода в дно траншеи в минеральный грунт.

Недостатком способа является то, что ремонт трубопровода осуществляется без предварительной оценки величины напряжений, возникающих в стенке трубопровода в процессе центрирования его концов с помощью гидроцилиндров в местах их установки. При этом центрирование концов трубопровода осуществляется их подъемом и опусканием без перемещения их по горизонтальной оси.

Известен способ вырезки участка трубопровода (патент RU №2529972, опубл. 10.10.2014 г.), включающий установку на трубопровод шунтирующих перемычек в виде медных кабелей с площадью сечения не менее 16 мм^2 , соединяющих невырезаемые части трубопровода между собой, а также с вырезаемым участком, монтаж по концам вырезаемого участка трубопровода машин для безогневой резки труб, имеющих заземление, резание трубопровода одновременно со всех концов участка машинами для резки при скорости вращения режущих инструментов не более 60 об/мин и при радиальном перемещении режущих инструментов со скоростью не более 30 мм/мин, при этом в процессе резания трубопровода в формируемые надрезы вбивают клинья из искробезопасного материала через каждые 250-300 мм, а вырезаемый участок трубопровода поддерживают с помощью грузоподъемного устройства.

Недостатком способа является то, что в результате вбивания клиньев в формируемые надрезы после их осуществления в результате высвобождения упругих деформаций происходит защемление вырезанного дефектного участка между торцов левой и правой относительно дефектного участка сторон трубопровода, что требует существенных трудозатрат при дальнейшем демонтаже вырезанного дефектного участка.

Известен способ ремонта потенциально опасного участка трубопровода с ненормативным радиусом изгиба (патент RU №2740329, опубл. 13.01.2021 г.), заключающийся в оценке его напряженно-деформированного состояния по данным геодезического позиционирования, проводят математическую обработку результатов, суть которых в выражении данных геодезического позиционирования через полиномы вычисляют радиусы изгиба через каждые 3 точки, по всей протяженности вскрытого участка, определяя точку с минимальным радиусом изгиба; при этом если не обеспечивается нормативное требование по радиусам изгиба более $1000D$ в защемлениях, то вскрытие участка продолжают, с повторным геодезическим позиционированием не реже чем через 2 м, и математической обработкой, до точки, где радиус изгиба в защемлении составляет $1000D$ и более, с повторным определением расчетного, минимального радиуса изгиба, где и проводится рез с последующим ремонтом

Недостатком способа является то, что разрезание трубопровода осуществляется без предварительного фиксирования в пространстве положения его концов по краям от места резки, что даже при условии разрезания в сечении с наименьшим на ремонтируемом участке радиусом упругого изгиба может повлечь за собой резкое

смещение концов трубопровода после разрезания и привести к поломке режущего оборудования.

Известен способ ремонта дефектных участков трубопровода в траншее (патент RU №2708758, опубл. 11.12.2019 г.), принятый за прототип, заключающийся в определении 5 дефектного участка, его вскрытии, вырезке и замене, отличающийся тем, что перед вырезкой дефектного участка проводят определение его критического напряженно-деформированного состояния и оценку опасности «выстрела», и при его наличии фиксируют дефектный участок фиксирующими устройствами, имеющими возможность регулировки в горизонтальном и вертикальном направлении; после вырезки дефектного 10 участка осуществляют центровку при помощи центровочных устройств, состоящих из четырех или более винтовых анкеров, предназначенных для надежной фиксации конструкции в грунте, двух или более полузахватов, имеющих замковое устройство, и механизмов горизонтальной и вертикальной регулировки концов трубопровода, а монтаж и демонтаж, а также транспортировку фиксирующих устройств на место 15 расположения трубопровода осуществляют при помощи манипуляторов, расположенных на транспортном средстве передвижения – на шасси.

Недостатком способа является то, что ремонт трубопровода осуществляется без предварительной оценки величин сил реакций, возникающих в силовых цилиндрах фиксирующих устройств при резком смещении концов трубопровода, что при высоком 20 их значении может привести к выходу из строя силовых цилиндров. Также процесс центрирования осуществляется без предварительной оценки величин напряжений, возникающих в стенке трубопровода, что может повлечь за собой его пластическое деформирование или разрушение. К тому же установка устройств осуществляется по 25 краям от вырезаемого участка, а не на него в том числе, что ввиду величины расстояния между устройством и местом первого разрезания трубопровода, обусловленного длиной вырезаемого участка, в среднем равной 4-5 м, ведет к резкому смещению концов трубопровода, как минимум обусловленного действием на трубопровод нагрузки от его собственного веса. При этом величина резкого смещения растет при увеличении 30 длины вырезаемого участка.

Техническим результатом является создание способа ремонта магистрального трубопровода с устранением резкого смещения концов трубопровода при его разрезании и центрированием концов перед приваркой нового участка для обеспечения 35 производственной безопасности процесса ремонта.

Способ ремонта дефектных участков магистральных трубопроводов, включает 35 определение дефектного участка, его вскрытие, вырезку и замену. Способ заключается в локализации дефектного участка, его откапывании, фиксировании трубопровода фиксирующими устройствами, вырезке дефектного участка, центровке концов трубопровода при помощи центровочных устройств, состоящих из буровых анкеров, захватов и механизмов горизонтальной и вертикальной регулировки концов 40 трубопровода, а монтаж и демонтаж, фиксирующих устройств на трубопровод осуществляют при помощи манипуляторов, расположенных на транспортном средстве передвижения – на шасси. Технический результат достигается тем, что после откапывания трубопровода проводят геодезические измерения его высотного положения в ремонтном котловане, после чего путем аппроксимации их полиномом 45 четвертой степени получают значения его коэффициентов, на основе которых и данных о материале стенки трубопровода, его длине, наружном и внутреннем диаметрах, длинах левой и правой сторон участка трубопровода, находящихся по краям одного из мест разрезания трубопровода, в котором осуществляют первое разрезание, а также

количестве устанавливаемых на трубопровод устройств фиксирования и центрирования и горизонтальных координатах мест их установки, определяют величины сил реакций, которые возникают в силовых цилиндрах при резком смещении концов трубопровода, отдельно для левой и правой сторон участка трубопровода, затем определяют усилия силовых цилиндров, которые необходимо приложить к трубопроводу для центрирования его концов с учетом высоты подъема каждого из концов и их угла с торцами привариваемого участка, который равен 0° , а затем определяют величины максимальных напряжений, которые возникают в стенке трубопровода при центрировании его концов, при превышении величин сил реакций в силовых цилиндрах и максимальных напряжений, возникающих в стенке трубопровода, их допустимых значений срабатывает система оповещения, после чего проводят дополнительное откапывание ремонтируемого участка и геодезические измерения высотно-планового положения трубопровода, после этого начинают производить установку с помощью манипулятора устройств фиксирования и центрирования на трубопровод и на вырезаемый участок по краям от каждого места разрезания трубопровода на расстоянии не менее 0,5 м.

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - схема разрезания трубопровода и расстановки устройств фиксирования и центрирования;

фиг. 2 - устройства в процессе фиксирования концов трубопровода;

фиг. 3 - график прогиба моделируемого трубопровода;

фиг. 4 - конечно-элементная модель высотного положения концов трубопровода после его разрезания при их фиксировании устройствами, установленными на трубопровод и вырезаемый участок;

фиг. 5 - конечно-элементная модель высотного положения концов трубопровода при их центрировании;

фиг. 6 - конечно-элементная модель высотного положения концов трубопровода после его разрезания при их фиксировании без установки устройств на вырезаемый участок, где:

1 - устройство фиксирования и центрирования концов трубопровода;

2 - трубопровод;

3 - вырезаемый участок трубопровода;

4 - место разрезания трубопровода;

5 - машинка для резки труб;

6 - силовой цилиндр.

Способ осуществляют следующим образом.

После локализации дефектного участка магистрального трубопровода, например, внутритрубной диагностикой, проводится его откапывание. Далее проводят геодезические измерения, например, тахеометрическую съемку, его высотно-планового положения в ремонтном котловане с шагом не менее 2 м. Результаты геодезических измерений передают на персональный компьютер, после чего путем аппроксимации их полиномом четвертой степени получают значения его коэффициентов.

Далее на основе полученных коэффициентов полинома, данных о материале стенки трубопровода, его длине, наружном и внутреннем диаметрах, длинах левой и правой сторон участка трубопровода 2 (фиг. 1), находящихся по краям одного из мест разрезания трубопровода 4, в котором осуществляется первое разрезание, длине вырезаемого участка 3, а также количестве устанавливаемых на трубопровод 2 устройств фиксирования и центрирования 1 и горизонтальных координатах мест их установки осуществляют определение расчетным путем величин сил реакций, возникающих в

силовых цилиндрах устройств фиксирования и центрирования 1 при резком смещении концов трубопровода 2. Расчет осуществляют отдельно для каждой из двух сторон участка трубопровода 2, находящихся по краям одного из мест разрезания трубопровода 4, в котором осуществляется первое разрезание.

5 После чего так же расчетным путем производят определение усилий силовых цилиндров устройств фиксирования и центрирования 1 (фиг. 2), необходимых для центрирования концов трубопровода 2 с учетом требуемой высоты подъема каждого из концов и их угла с торцами привариваемого участка, равного 0°.

10 Далее с учетом найденных усилий, прикладываемых к трубопроводу 2 со стороны силовых цилиндров устройств фиксирования и центрирования 1, осуществляется расчет величины максимальных напряжений, возникающих в стенке трубопровода 2 при центрировании его концов.

15 При превышении рассчитанных величин сил реакций, возникающих в силовых цилиндрах устройств фиксирования и центрирования 1 при резком смещении концов трубопровода 2, допустимых значений, либо превышении рассчитанных величин максимальных напряжений, возникающих в стенке трубопровода 2 при центрировании его концов, допустимых значений напряжений для металла стенки трубопровода 2, система автоматики оповещает об этом рабочий персонал. При срабатывании оповещения требуется дополнительное откапывание ремонтируемого участка

20 трубопровода 2 на длину не менее 10 м, и геодезические измерения высотного положения трубопровода 2 осуществляют снова.

Начинают производить установку с помощью манипулятора, установленного на транспортном средстве передвижения – на шасси, двух или более устройств

25 фиксирования и центрирования 1 на трубопровод 2 и на вырезаемый участок трубопровода 3 в определенных расчетных местах.

По краям от каждого места разрезания трубопровода 4 должно быть установлено не менее одного устройства фиксирования и центрирования 1 на расстоянии не менее 0,5 м от каждого места разрезания трубопровода 4 для возможности установки машинок для резки труб 5 в местах разрезания трубопровода 4. Такая величина расстояния

30 позволяет устранить термическое влияние процесса резания трубопровода на конструктивные элементы устройств фиксирования и центрирования 1, обеспечивая при этом наименьшую величину расстояния от устройства фиксирования и центрирования 1 до места разрезания трубопровода 4, увеличение которой влечет за собой увеличение величины смещения концов трубопровода при разрезании. Затем

35 проводят фиксирование положения концов трубопровода, для этого фиксируют положение поршней силовых цилиндров 6 устройств фиксирования и центрирования 1. Следующим шагом осуществляют установку режущего оборудования 5 в местах разрезания трубопровода 4, после чего осуществляют разрезание трубопровода 2. Далее производят опускание на дно траншеи вырезанного участка трубопровода 3

40 устройствами фиксирования и центрирования 1. После чего осуществляют демонтаж устройств фиксирования и центрирования 1 с помощью манипулятора, а затем манипулятором осуществляют подъем со дна траншеи и демонтаж вырезанного участка трубопровода 3.

Далее с помощью манипулятора осуществляют монтаж нового бездефектного

45 участка к месту сварки его торцов с концами трубопровода 2. После чего производится центрирование концов трубопровода 2 с торцами бездефектного участка путем подачи системой автоматики или с помощью дистанционного управления с пульта сигнала на клапаны гидрораспределительного устройства (на фиг. не показано), соединенных

трубками с каждым из силовых цилиндров 6 устройств фиксирования и центрирования 1, для подачи рассчитанных ранее усилий силовых цилиндров 6, необходимых для центрирования концов трубопровода 2.

После чего осуществляют сварку концов трубопровода 2 с торцами бездефектного участка. Далее производят демонтаж всех устройств фиксирования и центрирования 1, установленных на трубопроводе 2, с помощью манипулятора и осуществляет проверку качества сварных швов и их изоляцию, а затем закапывают отремонтированный участок трубопровода.

Способ поясняется следующим примером.

На упруго изогнутом участке магистрального трубопровода наружным диаметром $D = 1,02$ м, внутренним диаметром $d = 0,996$ м, длиной $S = 40$ м осуществляется ремонт с вырезкой дефектного участка длиной $l_d = 5$ м. Изгиб трубопровода описывается полиномом четвертой степени (фиг. 3).

Исходные данные для расчета сил реакций X_{ic} , возникающих в силовых цилиндрах устройств фиксирования и центрирования при смещении концов трубопровода, и усилий P_i , подаваемых на силовые цилиндры для центрирования концов трубопровода на высоту правого конца $h_{II} = -0,1604$ м, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

20

Параметр	Величина
Общая длина ремонтируемого участка трубопровода	$S = 40$ м
Длины сторон участка трубопровода после первого его разрезания, до вырезки дефектного участка: – левой стороны – правой стороны	$L_{II} = 25$ м $L_{II} = 15$ м
Длины сторон участка трубопровода после вырезки дефектного участка: – левой стороны – правой стороны	$l_{II} = 20$ м $l_{II} = 15$ м
Угол поворота крайних сечений трубопровода: – левого сечения – правого сечения	$\theta_{0II} = 0,012$ рад $\theta_{0II} = -0,009$ рад
Расстояния от левого крайнего сечения трубопровода до – места первого разрезания трубопровода – места второго разрезания трубопровода	$l_{1d} = 25$ м $l_{2d} = 20$ м
Расстояния от левого крайнего сечения участка трубопровода до мест установки устройств фиксирования и центрирования для – левой стороны участка трубопровода – правой стороны участка трубопровода	$l_{1II} = 14$ м $l_{2II} = 19,5$ м $l_{3II} = 20,5$ м $l_{4II} = 24,5$ м $l_{1II} = 33$ м $l_{2II} = 25,5$ м
Высотная отметка положения центрирования концов трубопровода для – левого конца – правого конца	$h_{II} = -0,1604$ м $h_{II} = -0,1604$ м
Коэффициенты полинома, описывающего прогиб оси трубопровода	$a = -4,485 \cdot 10^{-8}$ $b = 4,591 \cdot 10^{-6}$ $c = 1,102 \cdot 10^{-4}$ $e = -1,133 \cdot 10^{-2}$
Материал стенки трубопровода	Сталь 09Г2С
Плотность материала стенки трубопровода	$\rho = 7\ 850$ кг/м ³
Модуль Юнга стали стенки трубопровода	$E = 2 \cdot 10^{11}$ Па
Допустимое значение напряжений стали стенки трубопровода (предел текучести стали)	$\sigma_T = 325$ МПа
Наружный диаметр трубопровода	$D = 1,02$ м
Внутренний диаметр трубопровода	$d = 0,996$ м

45

Полученные в результате расчета данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета сил реакций, возникающих в силовых цилиндрах

устройств фиксирования и центрирования концов трубопровода при фиксировании концов трубопровода, и усилий, необходимых для их центрирования

5	Параметр	Величина	
		Левая сторона участка трубопровода	Правая сторона участка трубопровода
	X_{1c}, H	60 840,659	-228 037,316
	X_{2c}, H	501 900,494	199 519,112
	X_{3c}, H	-885 059,581	-
	X_{4c}, H	400 649,306	-
10	P_1, H	-385 756,233	-356 149,835
	P_2, H	277 925,232	170 705,197

Верификацию полученных в результате расчета данных проведем путем создания конечно-элементной модели в программном комплексе ANSYS. С помощью модуля моделирования динамических процессов Transient Structural реализуем изгиб трубопровода, после чего создадим неподвижные опоры в местах установки захватов устройств. Опоры в данном случае выступают аналогом захватов устройств фиксирования и центрирования. Далее реализуем разрезание трубопровода путем удаления элементов конечно-элементной сетки в месте разрезания на ширину реза, равную 1 см. После удаления элементов сетки происходит смещение концов трубопровода. В этот момент осуществим измерение сил реакций, возникающих в созданных опорах, которые и будут равны силам реакций, возникающим в силовых цилиндрах устройств при фиксировании положения концов трубопровода в процессе его разрезания. В результате получим конечно-элементную модель высотного положения исследуемого трубопровода после его разрезания при фиксировании положения его концов (фиг. 4). При этом величина максимальной разницы высотных отметок концов трубопровода при их резком смещении составила 0,05 мм.

В результате расчетов в программном комплексе ANSYS были получены следующие величины сил реакций, возникающих в созданных опорах при резком смещении концов трубопровода для его левой стороны: $X_{1лс} = 58\ 541,161$ Н, $X_{2лс} = 492\ 306,149$ Н, $X_{3лс} = -862\ 500,279$ Н, $X_{4лс} = 381\ 167,958$ Н; для его правой стороны: $X_{1пс} = -219\ 326,955$ Н; $X_{2пс} = 193\ 197,162$ Н.

После чего удаляется вырезаемый участок трубопровода путем удаления элементов сетки, расположенных на вырезаемом участке трубопровода. Далее к трубопроводу прикладываются усилия, необходимые для центрирования его концов перед приваркой нового участка. В результате получим конечно-элементную модель высотного положения концов трубопровода после их центрирования (фиг. 5). В результате высотные отметки концов трубопровода составляют для левого конца $h_{л} = -0,1556$ м и для правого конца $h_{п} = -0,1579$ м. При этом величины максимальных напряжений, возникающих в стенке трубопровода при центрировании его концов равны для левой стороны трубопровода $\sigma_{max, л} = 186,318$ МПа и для правой стороны трубопровода $\sigma_{max, п} = 133,017$ МПа, что ниже величины предела текучести стали стенки трубопровода $\sigma_T = 325$ МПа.

Рассчитаем относительные отклонения полученных в результате моделирования в программном комплексе ANSYS данных с рассчитанными по предлагаемому алгоритму. Результаты расчетов и рассчитанные относительные отклонения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета сил реакций, возникающих в силовых цилиндрах

устройств фиксации и центрирования концов трубопровода при фиксации положения экспериментального трубопровода, и усилий, необходимых для центрирования его концов

5	Параметр	Величина по предлагаемому алгоритму расчета	Величина по результатам моделирования в ANSYS	Относительное отклонение величин, %
	$X_{1лс}$ Н	60 840,659	58 541,161	3,780
	$X_{2лс}$ Н	501 900,494	492 306,149	1,912
	$X_{3лс}$ Н	-885 059,581	-862 500,279	2,549
	$X_{4лс}$ Н	400 649,306	381 167,958	4,862
10	$X_{1пс}$ Н	-228 037,316	-219 326,955	3,820
	$X_{2пс}$ Н	199 519,112	193 197,162	3,169
	h_p м	-0,1604	-0,1556	2,986
	$h_{п}$ м	-0,1604	-0,1579	1,534
	$\sigma_{max л}$ МПа	186,318	181,638	2,512
15	$\sigma_{max п}$ МПа	133,017	128,541	3,365

Далее построим конечно-элементную модель высотного положения исследуемого трубопровода после его разрезания без установки устройств на вырезаемый участок (фиг. 6). Для этого удалим неподвижные опоры, установленные на вырезаемом участке, осуществим разрезание трубопровода и измерим величину высотного положения концов трубопровода. При этом величина максимальной разницы высотных отметок концов трубопровода при их резком смещении составила 44,71 мм, что значительно превышает величину, наблюдаемую при условии установки устройств в том числе на вырезаемый участок, равную 0,05 мм. Это также свидетельствует об увеличении величины смещения концов трубопровода при его разрезании при увеличении расстояния от места разрезания трубопровода до ближайшего устройства фиксации и центрирования.

В результате полученные величины сил реакций, возникающих в силовых цилиндрах при резком смещении концов трубопровода, а также величины высотных отметок концов трубопровода $h_{л}$ и $h_{п}$ при приложении к ним рассчитанных усилий центрирования отличаются от рассчитанных ранее по предлагаемому алгоритму менее чем на 5%. Вышесказанное свидетельствует о работоспособности способа ремонта дефектных участков магистральных трубопроводов.

Способ ремонта магистральных трубопроводов с вырезкой дефектного участка позволяет обеспечить производственную безопасность процесса ремонта за счет фиксации положения концов трубопровода перед его разрезанием и их центрирования перед приваркой нового участка.

(57) Формула изобретения

Способ ремонта дефектных участков магистральных трубопроводов, включающий определение дефектного участка, его вскрытие, вырезку и замену, заключающийся в локализации дефектного участка, его откапывании, фиксации трубопровода фиксирующими устройствами, вырезке дефектного участка, центровке концов трубопровода при помощи центровочных устройств, состоящих из буровых анкеров, захватов и механизмов горизонтальной и вертикальной регулировки концов трубопровода, а монтаж и демонтаж фиксирующих устройств на трубопровод осуществляют при помощи манипуляторов, расположенных на транспортном средстве передвижения – на шасси, отличающийся тем, что после откапывания трубопровода проводят геодезические измерения его высотного-планового положения в ремонтном котловане, после чего путем аппроксимации их полиномом четвертой степени получают

значения его коэффициентов, на основе которых и данных о материале стенки трубопровода, его длине, наружном и внутреннем диаметрах, длинах левой и правой сторон участка трубопровода, находящихся по краям одного из мест разрезания трубопровода, в котором осуществляют первое разрезание, а также количестве
5 устанавливаемых на трубопровод устройств фиксирования и центрирования и горизонтальных координатах мест их установки, определяют величины сил реакций, которые возникают в силовых цилиндрах при резком смещении концов трубопровода, отдельно для левой и правой сторон участка трубопровода, затем определяют усилия силовых цилиндров, которые необходимо приложить к трубопроводу для центрирования
10 его концов с учетом высоты подъема каждого из концов и их угла с торцами привариваемого участка, который равен 0° , а затем определяют величины максимальных напряжений, которые возникают в стенке трубопровода при центрировании его концов, при превышении величин сил реакций в силовых цилиндрах и максимальных напряжений, возникающих в стенке трубопровода, их допустимых значений, срабатывает система
15 оповещения, после чего проводят дополнительное откапывание ремонтируемого участка и геодезические измерения высотно-планового положения трубопровода, после этого начинают производить установку с помощью манипулятора устройств фиксирования и центрирования на трубопровод и на вырезаемый участок по краям от каждого места разрезания трубопровода на расстоянии не менее 0,5 м.

20

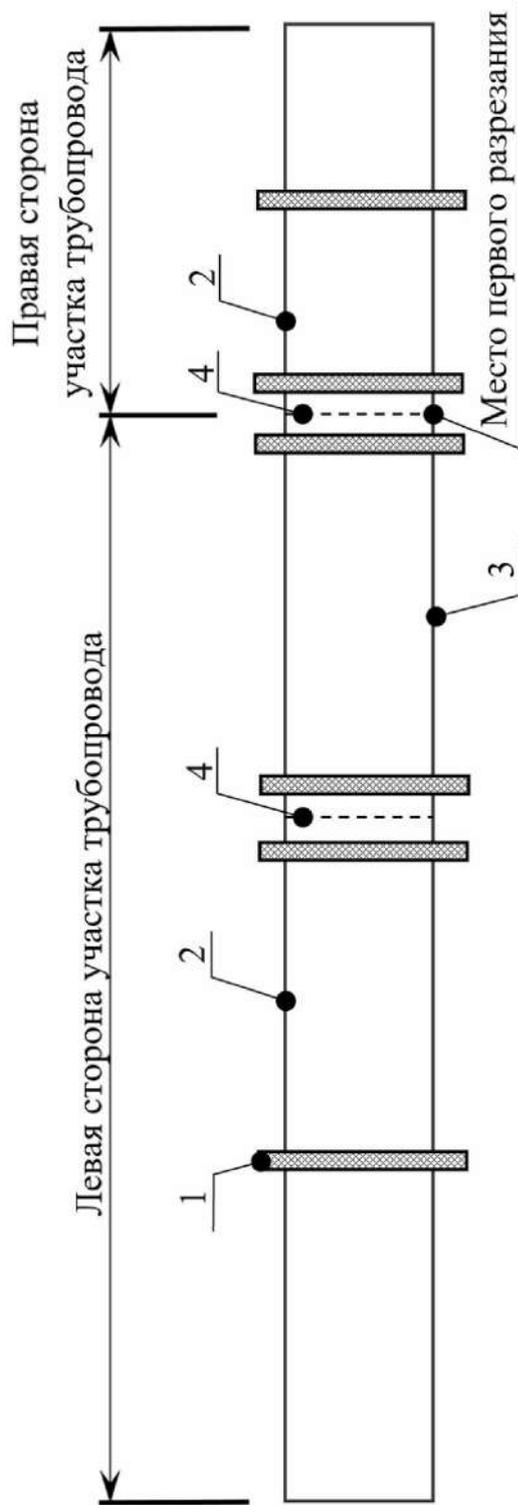
25

30

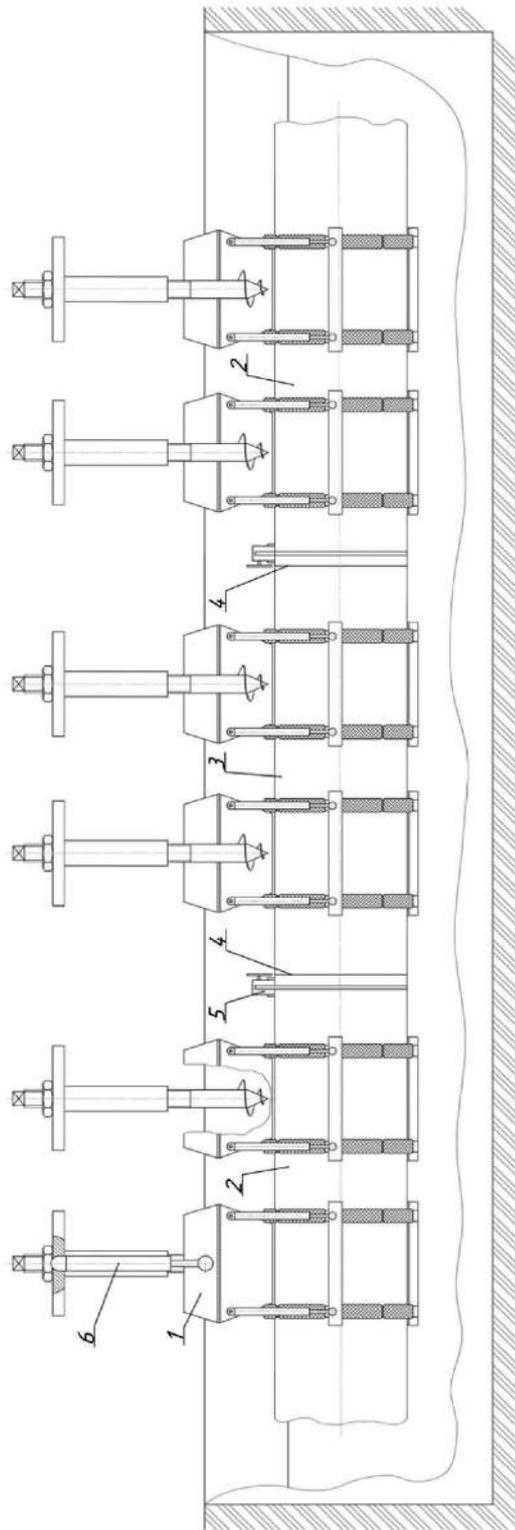
35

40

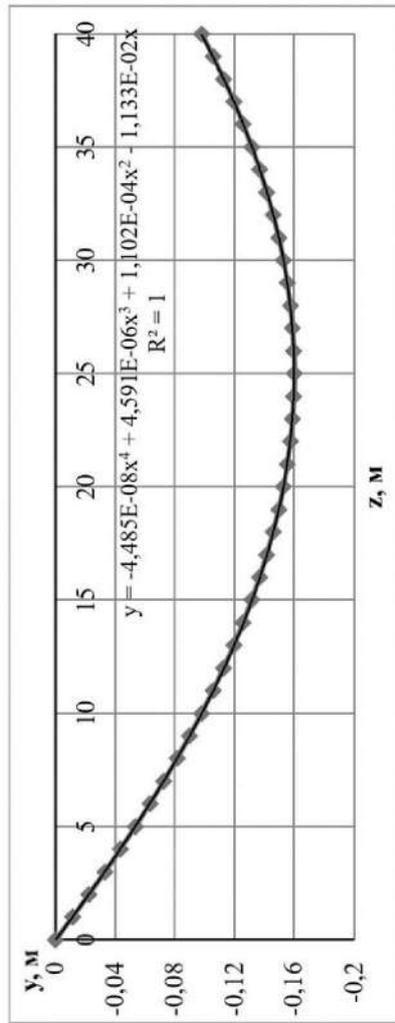
45



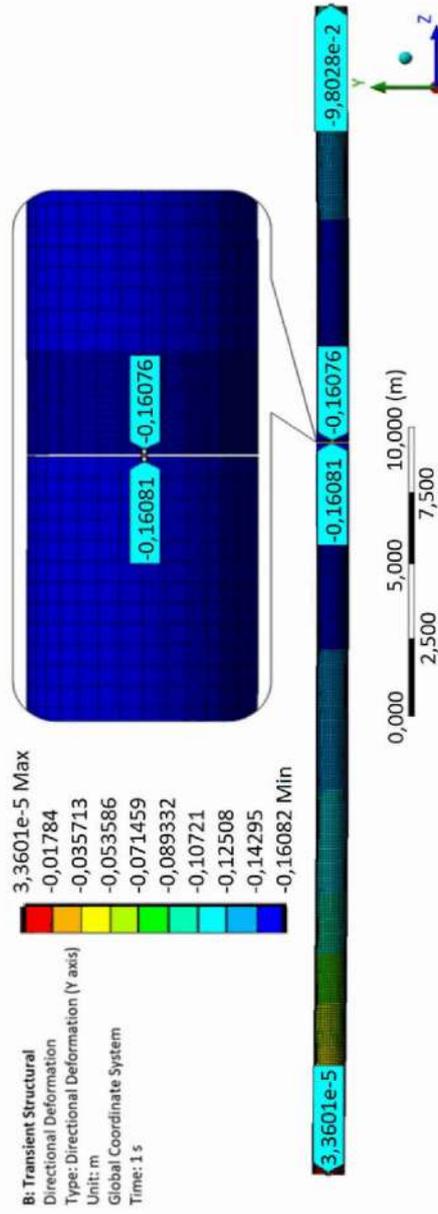
Фиг. 1



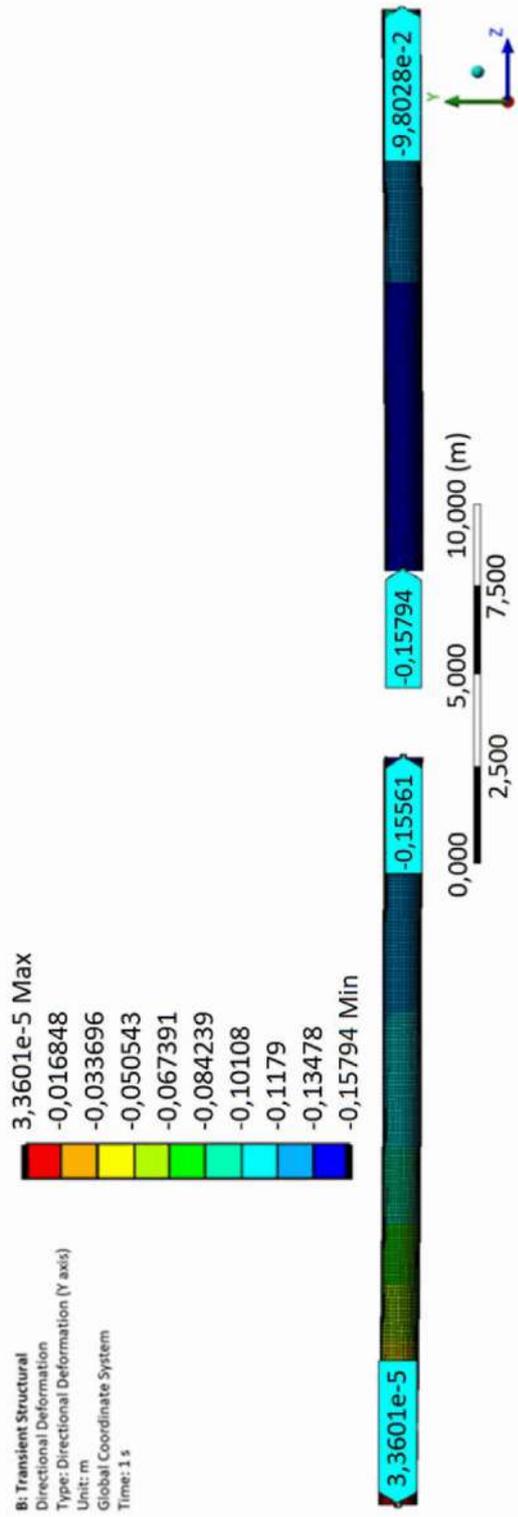
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

