И.А. Шаммазов, Д.И. Сидоркин, Э.Р. Джемилёв (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕМОНТА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ВЫРЕЗКОЙ ДЕФЕКТНОГО УЧАСТКА

Ildar A. Shammazov, Dmitry I. Sidorkin, Enver R. Dzhemilev (Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russian Federation)

ANALYSIS OF METHODS AND DEVICES FOR REPAIR OF MAIN PIPELINES BY CUTTING OUT OF ITS DEFECTIVE SECTION

Введение

Статья посвящена обоснованию актуальности разработки способа и устройства вырезки дефектных участков магистральных трубопроводов. Приведены сведения о применяемом в настоящее время способе вырезки дефектных участков трубопровода, который не предусматривает жесткую фиксацию концов трубопровода перед вырезкой, поэтому при окончании резки трубопровода происходит резкое смещение его концов в непредсказуемую сторону друг относительно друга часто на сотни миллиметров. Это опасно для рабочего персонала, может приводить к заклиниванию и поломке фрезы, а также вырыванию и надрыву трубы в конце резки. Чтобы в дальнейшем центрировать концы трубопровода друг относительно друга, необходимо применение дорогостоящих, трудно транспортируемых трубокладчиков.

Цели и задачи

Целью статьи является анализ способов и устройств для вырезки дефектного участка магистрального трубопровода.

Background

The article is devoted to the substantiation of the relevance of the development of a method and device for cutting out defective sections of main pipelines. The article provides information about the currently used method of cutting out defective sections of the pipeline, which does not provide for rigid fixation of the ends of the pipeline before cutting, therefore, when the cutting of the pipeline is completed, its ends abruptly shift to an unpredictable side relative to each other, often by hundreds of millimeters. This is dangerous for the operating personnel, can lead to jamming and breakage of the cutter, as well as to the pipe pulling out and tearing at the end of the cut. In order to further center the ends of the pipeline relative to each other, it is necessary to use expensive, difficult to transport pipelayers.

Aims and Objectives

The purpose of this article is analysis of methods and devices for cutting out a defective section of the main pipeline.

Результаты

Установлено, что на сегодняшний день отсутствуют способы и устройства для вырезки дефектного участка магистрального трубопровода, которые являлись бы одновременно безопасными и эффективными как технологически, так и выгодными экономически. Для реализации способа, удовлетворяющего данным критериям, необходима методика, позволяющая учитывать напряженно-деформированное состояние трубопровода перед вырезкой дефектного участка, а также геологические условия его залегания, чтобы оценить величину смещения концов трубопровода друг относительно друга в процессе резки. Для этого необходимо выявить зависимость данной величины смещения от величины упругого изгиба трубопровода, длины ремонтируемого участка, диаметра и толщины стенки трубопровода, а также типов грунтов, определяющих вид применяемой расчетной нагрузки.

Необходима разработка устройства, позволяющего фиксировать и центрировать концы трубопровода друг относительно друга, устанавливаемого с минимальным объемом дополнительных земляных работ, обладающего удобством его транспортировки, монтажа и демонтажа, простотой конструкции, обеспечивающей проведение работ, в том числе и в осложненных условиях, и исключающей присутствие рабочего персонала в траншее в процессе вырезки дефектного участка.

Отмечено, что разрабатываемый способ вырезки дефектных участков трубопроводов должен включать в себя учет напряженно-деформированного состояния трубопровода с целью оценки величины смещения концов трубопровода при его резке. В связи с этим приведены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния трубопровода в процессе резки в среде ANSYS.

Results

It has been established that today there are no methods and devices for cutting out the defective section of the main pipeline, which would be both safe and efficient, both technologically and economically beneficial. To implement a method that meets these criteria, a technique is needed that allows one to take into account the stress-strain state of the pipeline before cutting the defective section, as well as the geological conditions of its occurrence, in order to estimate the magnitude of the displacement of the ends of the pipeline relative to each other during the cutting process. To do this, it is necessary to identify the dependence of this displacement value on the value of the elastic bend of the pipeline, the length of the section to be repaired, the diameter and thickness of the pipeline wall, as well as the types of soils that determine the type of design load applied.

It is necessary to develop a device that allows fixing and centering the ends of the pipeline relative to each other, installed with a minimum amount of additional earthwork, with ease of transportation, installation and dismantling, simplicity of design, ensuring work, including in difficult conditions, and excluding the presence of a worker personnel in the trench in the process of cutting out the defective area.

It is noted that the developed method for cutting out defective sections of pipelines should include taking into account the stress-strain state of the pipeline in order to assess the magnitude of the displacement of the ends of the pipeline during its cutting. In this regard, the results of modeling the stress-strain state of the pipeline during cutting in the ANSYS environment are presented.

Ключевые слова: ремонт трубопровода; вырезка; дефект; способ; устройство; напряженно-деформированное состояние; моделирование

Keywords: pipeline repair; cutting; defect; method; device; stress-strain state; modeling

---

Введение

В процессе эксплуатации нефте- и газопроводов в теле трубы и на ее поверхности возникает множество дефектов. В соответствии с РД 153-39.4-067-04 «Методы ремонта дефектных участков действующих магистральных нефтепроводов» существуют постоянные и временные методы ремонта. [1]

Постоянные методы ремонта направлены на восстановление несущей способности дефектного участка трубопровода до состояния бездефектного участка. В число таких методов входят вырезка, шлифовка, заварка, применение муфт различных конструкций (обжимная приварная, галтельная, удлиненная галтельная) и патрубков с эллиптическим дном. [2, 3]

Временные методы ремонта применяются на ограниченный период времени. К их числу относят применение необходимой приварной муфты и муфты с коническими переходами. [1, 4] Одним из видов наиболее применяемых методов устранения дефектов является их вырезка [5, 6].

Вырезка дефекта применяется в следующих случаях:

—недопустимое сужение проходного сечения трубопровода;

—невозможность отремонтировать трубопровод другими, менее радикальными методами из-за протяженной трещины, глубокой вмятины с трещиной или коррозией, чрезмерной длины дефектного участка и т.д.

Суть этого вида ремонта заключается в том, что участок трубы («катушку») с дефектом вырезают и заменяют бездефектной трубой [7].

Вырезка катушки осуществляется с помощью одновременно двух машин резки труб (МРТ).

Машины для резки трубы устанавливаются на трубе согласно РД 153-39.4-130-2002 «Регламент по вырезке и врезке «катушек» соединительных деталей, заглушек, запорной и регулирующей арматуры и подключению участков магистральных нефтепроводов» в соответствии с рисунком 1 [8].

- 1 - рабочий котлован; 2 - магистральный трубопровод; 3 - МРТ;
4 - провод заземления МРТ со штырем; 5 - пульт управления МРТ;
6 - шунтирующая перемычка; 7 - приставная лестница; 8 - вантуз;
9 - гибкая стальная лента (хомут)

Рисунок 1. Схема безогневой вырезки катушки

Существующий способ вырезки «катушки» трубопровода, выполняющийся согласно [8], не предусматривает жесткую фиксацию концов трубопровода перед вырезкой, поэтому при окончании резки трубопровода происходит резкое смещение концов трубопровода друг относительно друга - «выстрел», часто на сотни миллиметров в непредсказуемую сторону. Это опасно для рабочего персонала, может приводить к заклиниванию и поломке фрезы и часто к вырыванию и надрыву трубы в конце резки.

Чтобы в дальнейшем центрировать концы трубопровода друг относительно друга, необходимо применение дорогостоящих тяжелых (массой до 60 т), трудно транспортируемых трубоукладчиков.

В связи с вышесказанным актуальной является разработка способа вырезки дефектного участка трубопровода, который позволит производить вырезку, фиксируя положение концов трубопровода по краям от вырезаемой «катушки» во избежание резкого их смещения, а также упростить процесс их центрирования относительно друг друга.

Анализ предлагаемых в настоящее время способов и устройств вырезки дефектных участков магистральных трубопроводов

Необходимо выяснить, какие существуют и предлагаются специалистами способы и устройства для фиксирования положения концов трубопровода перед вырезкой дефектного участка и дальнейшего их центрирования относительно друг друга.

Известен способ ремонта магистрального трубопровода [9], который заключается в откапывании дефектного участка трубопровода с образованием разноплечих труб по краям от вырезаемого участка, при этом короткоплечая труба является неподвижной, а длинноплечая - подвижной.

Центрирование концов трубопровода осуществляют перемещением по осям длинноплечей трубы с помощью троса трубоукладчика.

Графическое изображение данного способа представлено на рисунке 2.

Недостатком данного способа является увеличение земляных работ, малая точность центрирования осей концов трубопровода, а также возможная необходимость применения более одного трубоукладчика.

Устройство [10] устанавливается на опорах по краям траншеи с возможностью вертикального перемещения и оснащено четырьмя упорами в форме пластин со скосами, расширяющихся книзу и снабженных U-образными вантами на поперечных полках упоров. Описываемое устройство представлено на рисунке 3.

Достоинством конструкции является ее простота.

Недостатком метода является невозможность выравнивания оси трубопровода в горизонтальной оси, а также отсутствие закрепления опор фиксирующего устройства к поверхности откосов ремонтного котлована.

В патенте [11] описывается устройство, снабженное стрингерами и подвижными упорами.

По краям вырезаемого участка трубопровода устанавливаются хомуты. В отверстия приливов одного из хомутов продевают стрингеры. На стрингеры устанавливаются подвижные упоры, после чего стрингеры продевают в отверстия второго хомута. Далее вырезается дефектный участок, после чего приваривается новая «катушка» трубопровода.

Конструкция устройства представлена на рисунке 4.

Недостатком устройства является невозможность поддержания трубопровода на определенном расстоянии от земли без помощи трубоукладчика, а также то, что вследствие возникновения значительных напряжений в трубопроводе при вырезке дефектного участка возможно нарушение соосности концов трубы из-за упругой деформации стрингеров. При этом для обеспечения соосности трубопровода необходимо применение трубоукладчиков.

Подобная конструкция предлагается в патенте [12]. В данном случае в состав конструкции также входят лазерные датчики для обеспечения соосности стыкуемых труб.

1 - котлован; 2 - трубопровод; 3 - дефектный участок;
4 - поперечные стенки котлована; 5 - трос трубоукладчика;
6 - короткоплечая труба; 7 - длинноплечая труба

Рисунок 2. Центрация трубопровода созданием разноплечих труб

1 - основание; 2 - ремонтный котлован; 3 - вертикальные стойки;
4 - U-образные ванты; 5 - резьбовые опоры; 6 - ось трубопровода;
7 - упоры; 8 - полки

Рисунок 3. Устройство для фиксации магистрального трубопровода

1 - трубопровод; 2 - хомуты; 3 - стрингеры; 4 - приливы;
5 - стопорные винты; 6 - запорное устройство; 7 - катушка;
8 - подвижные упоры

Рисунок 4. Устройство с набором стрингеров и упоров

В патенте [13] устройство устанавливается на несущих стойках по краям траншеи, оснащено силовой цепью для поднятия оси трубопровода, а также узлом для перемещения трубопровода в горизонтальном направлении, состоящим из рычажной лебедки и системы полиспаста, включающей два блока, один из которых подсоединен к отрезку трубопровода, а другой подсоединен к опорной балке, закрепленной на несущих стойках.

Конструкция устройства представлена на рисунке 5.

Недостатком способа является сложность конструкции, ее монтажа, а также невозможность регулировки положения трубопровода вниз по вертикали.

Способ замены дефектного участка трубопровода [14] включает локализацию поврежденного участка, оценку его напряженно-деформированного состояния, вырезку поврежденного участка, центрирование труб, монтаж и сварку «катушки» трубопровода. При этом в процессе оценки напряженно-деформированного состояния трубопровода

производится определение его упругой деформации, в зависимости от вида которой осуществляются продольные, поперечные или спиральные разрезы по трубопроводу до высвобождения имеющейся упругой деформации.

Недостатком способа является необходимость присутствия рабочего персонала в траншее в процессе выполнения надрезов, что снижает уровень безопасности работ по вырезке дефектного участка трубопровода.

Известен также способ ремонта линейного участка трубопровода на слабонесущих грунтах [15], который включает в себя локализацию аварийного участка, откачивание из него газа, вырезку поврежденного участка, монтаж и сварку новой «катушки».

При этом центрирование концов трубопровода с новой «катушкой» производится их вертикальными перемещениями с помощью гидроцилиндров.

Само устройство крепится сваями, установленными на дно траншеи в минеральный грунт.

- 1 - площадка; 2 - основание; 3 - фиксатор; 4 - домкрат; 5 - опорный лист;
 6 - упор; 7 - несущая стойка; 8 - цепь; 9 - коромысло; 10 - рычажная лебедка;
 11 - блок; 12 - строп; 13 - опорная балка; 14 - силовая цепь;
 15 - отрез трубопровода

Рисунок 5. Центрирующее устройство с силовыми цепями

Недостатком способа является отсутствие возможности центрирования концов трубопровода после вырезки в горизонтальном направлении.

Способ вырезки участка трубопровода [16] заключается в установке по концам дефектного участка трубопровода машин для безогневой резки труб, последующей вырезке участка с обоих концов и вбивании в формируемые надрезы через каждые 250-300 мм клиньев из искробезопасного материала.

Недостатком способа является необходимость присутствия рабочего персонала в траншее в процессе резания трубопровода для вбивания клиньев в формируемые надрезы, что также снижает уровень безопасности ведения работ ввиду имеющейся вероятности вырывания металла трубы к концу процесса резки. Также недостатком является отсутствие возможности точного центрирования концов трубопровода, находящихся по краям от вырезаемого участка.

Способ ремонта [17] заключается в применении фиксирующих устройств, устанавливаемых в траншее с помощью винтовых анкеров. Устройство также оснащено шарнирными опорами на силовых цилиндрах,

имеющих возможность регулирования по высоте, включенных в единый каркас силовой станции, а также двух или более полузахватов, имеющих замковое устройство.

Данное устройство представлено на рисунке 6.

Достоинством устройства является возможность его надежной фиксации в грунте траншеи.

Недостатком устройства является необходимость его установки на дно траншеи, что увеличивает объем земляных и монтажных работ.

В патенте [18] устройство фиксируется на дно траншеи с помощью винтовых анкеров, двумя полузахватами для трубопровода, управляемых гидроцилиндрами, шток силового цилиндра, соединенный шарниром с опорными лыжами, упирающимися в дно траншеи, для регулировки положения трубопровода по вертикали. Также основание захвата опирается на швеллеры для возможности регулировки положения трубопровода в горизонтальном направлении так же с помощью силового цилиндра.

Описываемое устройство представлено на рисунке 7.

1 - трубопровод; 2 - фиксирующее устройство; 3 - центровочные устройства; 4 - силовые станции; 5 - силовые цилиндры; 6 - винтовые анкеры

Рисунок 6. Центрирующее устройство с силовыми цилиндрами

- 1 - крайние траверсы; 2 - балки; 3 - анкеры; 4 - шестигранник;
 5 - внутренние траверсы; 6 - опорные лыжи; 7 - силовые цилиндры;
 8 - шарнирная связь; 9 - гофр; 10 - створки; 11 - ось; 12 - дуга;
 13 - силовые цилиндры; 14 - основание; 15 - замки; 16 - швеллеры;
 17 - ролики; 18 - цилиндр; 19 - силовая станция; 20 - платформа

Рисунок 7. Опорно-центрирующее устройство концевой участка магистрального нефте- и газопровода

Достоинством устройства является простота регулировки положения трубопровода как по вертикали, так и по горизонтали. Недостатком устройства является невозможность его установки опорами по краям траншей, а не на ее дно, что также увеличивает объем земляных работ и сложность монтажа.

Стоит отметить, что в направлении исследований способов и устройств для вырезки дефектных участков магистральных трубопроводов помимо совершенствования конструктивных особенностей устройств фиксации и центрирования концов трубопровода, необходимо также особое внимание уделять оценке напряженно-деформированного состояния трубопровода и геологических усло-

вий его залегания перед производством ремонтных работ ввиду зависимости величины изменения напряженно-деформированного состояния трубопровода и, как следствие, величины смещения его концов при вырезке дефектного участка, от типа грунта как при статическом состоянии грунта, так и в процессе его подвижек [19, 20].

Моделирование смещения концов магистрального трубопровода при вырезке его дефектного участка

К изменению напряженно-деформированного состояния трубопровода ведет отклонение его положения от первоначального.

чального, ненагруженного изгибающими моментами. При этом данное изменение влияет на процесс производства ремонтных работ [21]. Такое отклонение положения трубопровода от первоначального происходит ввиду осадки грунта при заполнении пустот, оставшихся после завершения возведения насыпи, уплотнении грунта за счет оттока лишней влаги, а также действия веса и вибраций трубопровода [22, 23].

С целью обоснования необходимости учета упругих деформаций магистрального трубопровода в процессе производства ремонтных работ по вырезке его дефектного участка необходимо построить модель напряженно-деформированного состояния участка трубопровода и определить величину смещения его концов после его разрезания.

Для исследования напряженно-деформированного состояния трубопровода в рамках рассматриваемой задачи используется метод конечных элементов, который заключается в разбиении объемной модели трубопровода на элементы, приложении к ним нагрузок, задании граничных условий модели и дальнейшем решении систем уравнений, в соответствии с которыми происходит взаимодействие элементов модели [24].

Для определения напряженно-деформированного состояния участка трубопровода методом конечных элементов воспользуемся средствами программного комплекса ANSYS, позволяющего производить статические и динамические прочностные расчеты различных конструкций [25, 26].

Перед проведением расчета была создана объемная модель вырезаемого участка магистрального трубопровода, проложенного в траншее с приложенными к нему нагрузками.

Исследуемый в модели участок трубопровода имеет следующие параметры:

- длина участка - 24 м;
- материал трубопровода - сталь 08ГБЮ с пределом кратковременной прочности 510 МПа и пределом текучести для остаточной деформации 350 МПа [27];
- класс прочности стали - K52;

- наружный диаметр - 1220 мм;
- толщина стенки - 12 мм.

Для реализации в модели напряженно-деформированного состояния ремонтируемого трубопровода осуществлялось:

- позиционирование оси трубопровода вдоль оси OX, при этом ось OZ вертикальна;
- ограничение всех перемещений левого и правого концов трубопровода кроме продольных перемещений вдоль оси OZ и вращения вокруг оси OY, при этом в среде ANSYS это реализовано путем приложения граничных условий к концам трубопровода;
- приложение распределенной нагрузки от веса самого трубопровода;
- приложение изгибающих моментов по краям трубопровода величиной по 0,1 МН·м каждый, ориентированных в плоскости XOZ для создания случая упругого изгиба трубопровода.

Полученная в результате расчета графическая интерпретация распределения напряжений в теле трубы представлена на рисунке 8.

Максимальная величина нагрузки после разрезания участка трубопровода локализуется в нижней части трубы в месте смыкания трубопровода к краю траншеи и составляет 15,47 МПа.

Конечное положение трубопровода после смещения его концов, расположенных по краям от места разрезания, представлено на рисунке 9.

При этом смещение концов трубопровода по оси OZ после разрезания трубопровода составило 218,76 мм.

Данная модель расчета величины смещения концов трубопровода в процессе его разрезания используется для дальнейшего выявления зависимости величины смещения концов трубопровода от величины его упругого изгиба, длины ремонтируемого участка трубопровода, диаметра и толщины стенки трубопровода, а также типов грунтов, определяющих вид применяемой расчетной нагрузки.

Рисунок 8. Распределение напряжений в теле трубы по Мизесу

Рисунок 9. Конечное положение трубопровода после его разрезания

Выводы

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что на сегодняшний день отсутствуют способы и устройства для вырезки дефектного участка магистрального трубопровода, которые являлись бы одновременно безопасными и эффективными как технологически, так и выгодными экономически. Для реализации способа, удовлетворяющего данным критериям, необходима методика, позволяющая учитывать напряженно-деформированное состояние трубопровода перед вырезкой дефектного участка, а также

геологические условия его залегания, чтобы оценить величину смещения концов трубопровода друг относительно друга в процессе резки. Для этого необходимо выявить зависимость данной величины смещения от величины упругого изгиба трубопровода, длины ремонтируемого участка, диаметра и толщины стенки трубопровода, а также типов грунтов, определяющих вид применяемой расчетной нагрузки.

К тому же, необходима разработка такого устройства, которое позволяло бы фиксировать и центрировать концы трубопровода

друг относительно друга, устанавливаемого с минимальным объемом дополнительных земляных работ, обладающего удобством его транспортировки, монтажа и демонтажа, простотой конструкции, позволяющей вести работы, в том числе и в осложненных условиях, и исключающей присутствие рабочего персонала в траншее в процессе вырезки дефектного участка.

В настоящее время разработка техники и технологии ведения ремонтных работ по вырезке дефектных участков магистральных трубопроводов активно ведется коллективом сотрудников Санкт-Петербургского горного университета (Центра компетенций в области техники и технологий освоения месторождений в арктических условиях и кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»).

Список литературы

1. РД 153-39.4-067-04. Методы ремонта дефектных участков действующих магистральных нефтепроводов. Краснодар: Типография ЦСИ, 2004. 28 с.
2. Чучкалов М.В., Гумеров К.М. Моделирование напряженного состояния подземного трубопровода с учётом грунтовых изменений // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2014. № 2. С. 3-6.
3. Антипов Б.Н. Снижение потерь газа при выводе в ремонт участка магистрального газопровода // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 1. С. 14-16. DOI: 10.24411/0131-4270-2019-10103.
4. Лукьянов В.Ф., Лукьянов А.А. Ремонт магистральных трубопроводов стальными сварными муфтами // Вестник Донского государственного технического университета. 2016. Т. 16. № 3 (86). С. 39-45. DOI: 10.12737/20224.
5. Кантор О.Г., Нурдаулетов Б.Р., Кузеев И.Р. Сравнительный анализ методов устранения коррозионного растрескивания под напряжением в газопроводах // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2019. Т. 8. № 3 (28). С. 278-281. DOI: 10.26140/anie-2019-0803-0066.
6. Велиулин И.И., Решетников А.Д., Мигунов Д.К., Токарев А.В., Раздобудко Я.А., Гуслиц В.М. Анализ эффективности применяемых технологий и разработка новых подходов к организации ремонта трубопроводов // Территория «Нефтегаз». 2012. № 11. С. 76-80.
7. Сальников А.В., Шарыгин А.М., Игнатик А.А. Оценка прочности и долговечности труб с дефектами для эффективного планирования ремонтных работ на линейной части магистральных трубопроводов // Территория «Нефтегаз». 2016. № 9. С. 114-121.
8. РД 153-39.4-130-2002. Регламент по вырезке и врезке «катушек» соединительных деталей, заглушек, запорной и регулирующей арматуры и подключению участков магистральных нефтепроводов. М.: ГУП Издательство «Нефть и газ», 2002. 80 с.
9. Пат. 2298717 РФ, МПК F 16 L 1/00. Способ ремонта магистрального трубопровода / Е.М. Кирин, С.Н. Борисов. 2005137257/06, Заявлено

References

1. RD 153-39.4-067-04. *Metody remonta defektnykh uchastkov deistvuyushchikh magistral'nykh nefteprovodov* [RD 153-39.4-067-04. Methods for Repairing Defective Sections of Existing Main Oil Pipelines]. Krasnodar, Tipografiya TsSI Publ., 2004. 28 p. [in Russian].
2. Chuchkalov M.V., Gumerov K.M. Modelirovanie napryazhennogo sostoyaniya podzemnogo truboprovoda s uchetom gruntovykh izmenenii [Modeling of the Stress State of Underground Pipeline with Underground Changes]. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya - Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*, 2014, No. 2, pp. 3-6. [in Russian].
3. Antipov B.N. Snizhenie poter' gaza pri vyvode v remont uchastka magistral'nogo gazoprovoda [Reduction of Gas Losses During the Repair of the Section of the Main Gas Pipeline]. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya - Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*, 2019, No. 1, pp. 14-16. DOI: 10.24411/0131-4270-2019-10103. [in Russian].
4. Lukyanov V.F., Lukyanov A.A. Remont magistral'nykh truboprovodov stal'nymi svarnymi muftami [Main Pipeline Repair by Steel Welding Sockets]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta - Vestnik of Don State Technical University*, 2016, Vol. 16, No. 3 (86), pp. 39-45. DOI: 10.12737/20224. [in Russian].
5. Kantor O.G., Nurdauletov B.R., Kuzeev I.R. Sravnitel'nyi analiz metodov ustraneniya korrozionnogo rastreskivaniya pod napryazheniem v gazoprovodakh [Comparative Analysis of Methods for Eliminating Stress Corrosion Cracking in Gas Pipelines]. *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie - Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*, 2019, Vol. 8, No. 3 (28), pp. 278-281. DOI: 10.26140/anie-2019-0803-0066. [in Russian].
6. Veliyulin I.I., Reshetnikov A.D., Migunov D.K., Tokarev A.V., Razdobudko Ya.A., Guslits V.M. Analiz effektivnosti primenyaemykh tekhnologii i razrabotka novykh podkhodov k organizatsii remonta truboprovodov [Analysis of the Effectiveness of the Technologies Used and the Development of New Approaches to the Organization of Pipeline Repair]. *Territoriya «Neftegaz» - Oil and Gas Territory*, 2012,

- 30.11.2005; Опубли. 10.05.2007. Бюл. 13.
10. Пат. 2312267 РФ, МПК F 16 L 3/00. Устройство для фиксации магистрального трубопровода / Е.М. Киринов, М.Н. Краснов, А.В. Ежов. 2006117671/06, Заявлено 22.05.2006; Опубли. 10.12.2007. Бюл. 34.
11. Пат. 2217650 РФ, МПК F 16 L 55/18. Устройство для центрирования труб / Г.Г. Хоперский, В.В. Прокофьев. 2000101521/06, Заявлено 18.01.2000; Опубли. 27.11.2003. Бюл. 33.
12. Пат. 188586 РФ, МПК F 16 L 55/18. Устройство для центрирования труб / С.В. Куличков, О.Б. Ненашев. 2018138653, Заявлено 02.11.2018; Опубли. 17.04.2019. Бюл. 11.
13. Пат. 2645837 РФ, МПК F 16 L 1/10. Центрирующее устройство / А.Г. Носов, А.К. Лесков, И.С. Галимов. 2016144995, Заявлено 16.11.2016; Опубли. 28.02.2018. Бюл. 7.
14. Пат. 2690997 РФ, МПК F 16 L 1/028. Способ замены дефектного участка трубопровода / Р.Н. Бахтизин, Н.К. Криони, А.Д. Мингажев, И.Р. Кузеев, Р.А. Амиров, Е.А. Наумкин, Р.К. Давлеткулов. 2018117191, Заявлено 08.05.2018; Опубли. 07.06.2019. Бюл. 16.
15. Пат. 2010113955 РФ, МПК F 16 L 1/028. Способ ремонта линейного участка трубопровода на слабонесущих грунтах / М.И. Муравьев, И.А. Носков. 2010113955/06, Заявлено 09.04.2010; Опубли. 20.10.2010. Бюл. 29.
16. Пат. 2529972 РФ, МПК F 16 L 1/024. Способ вырезки участка трубопровода / Н.Р. Гальмутдинов, М.Н. Голубев. 2012152013/06, Заявлено 05.12.2012; Опубли. 10.10.2014. Бюл. 28.
17. Пат. 2708758 РФ, МПК F 16 L 1/028. Способ ремонта дефектных участков трубопровода в траншее / Ю.Д. Коннов, Ю.Г. Матвеев, Р.Ф. Хабибуллин, А.Ю. Чеботарев. 2016139934, Заявлено 10.10.2016; Опубли. 10.04.2018. Бюл. 10.
18. Пат. 148090 РФ, МПК F 16 L 1/26. Опорно-центрирующее устройство концевой участка магистрального нефте- или газопровода / Ю.Г. Матвеев, Ю.Д. Коннов, Д.И. Сидоркин. 2014111881/06, Заявлено 27.03.2014; Опубли. 27.11.2013. Бюл. 33.
19. Magura M. Interaction of Buried Pipeline with Soil Under Different Loading Cases // Slovak Journal of Civil Engineering. 2016. Vol. 24. Issue 3. P. 29-35. DOI: 10.1515/sjce-2016-0014.
20. Ялалов Д.В., Валеев А.Р., Аскаров Р.М., Хакимов Т.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния подземного трубопровода при сдвигах горных пород в зонах активных тектонических разломов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Вып. 3 (119). С. 102-112. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-3-102-112.
21. Николаев В.В. Напряженно-деформируемое состояние ремонтируемого участка трубопровода // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2015. № 1. С. 82-92.
22. Иванцова С.Г., Будзуляк Б.В. Оценка напряженно-деформированного состояния трубопровода перед выводом в ремонт // Транспорт и
- No. 11, pp. 76-80. [in Russian].
7. Salnikov A.V., Sharygin A.M., Ignatik A.A. Otsenka prochnosti i dolgovechnosti trub s defektami dlya effektivnogo planirovaniya remonnykh rabot na lineinoy chasti magistral'nykh truboprovodov [Strength and Durability Evaluation of Pipes with Defects for Effective Repair Planning on the Linear Part of the Main Pipelines]. *Territoriya «Neftegaz» - Oil and Gas Territory*, 2016, No. 9, pp. 114-121. [in Russian].
8. RD 153-39.4-130-2002. *Reglament po vyrezke i vrezke «katushek» soedinitel'nykh detalei, zaglushkek, zapornoj i reguliruyushchei armatury i podklyucheniya uchastkov magistral'nykh nefteprovodov* [RD 153-39.4-130-2002. Regulations for Cutting and Inserting «Coils» of Connecting Parts, Plugs, Shut-Off and Control Valves and Connecting Sections of Main Oil Pipelines]. Moscow, GUP Izdatel'stvo «Nef' i gaz» Publ., 2002. 80 p. [in Russian].
9. Kirin E.M., Borisov S.N. *Sposob remonta magistral'nogo truboprovoda* [Main Pipeline Repair Method]. Patent RF, No. 2298717, 2007. [in Russian].
10. Kirin E.M., Krasnov M.N., Ezhov A.V. *Ustroistvo dlya fiksatsii magistral'nogo truboprovoda* [Device for Fixing the Main Pipeline]. Patent RF, No. 2312267, 2007. [in Russian].
11. Khoperskii G.G., Prokofev V.V. *Ustroistvo dlya tsentrirovaniya trub* [Pipe Centering Device]. Patent RF, No. 2217650, 2003. [in Russian].
12. Kulichkov S.V., Nenashev O.B. *Ustroistvo dlya tsentrirovaniya trub* [Pipe Centering Device]. Patent RF, No. 188586, 2019. [in Russian].
13. Nosov A.G., Leskov A.K., Galimov I.S. *Tsentriruyushchee ustroistvo* [Centering Device]. Patent RF, No. 2645837, 2018. [in Russian].
14. Bakhtizin R.N., Krioni N.K., Mingazhev A.D., Kuzeev I.R., Amirov R.A., Naumkin E.A., Davletkulov R.K. *Sposob zameny defektnogo uchastka truboprovoda* [A Method for Replacing a Defective Section of a Pipeline]. Patent RF, No. 2690997, 2019. [in Russian].
15. Muravev M.I., Noskov I.A. *Sposob remonta lineinogo uchastka truboprovoda na slabonesushchikh gruntakh* [A Method for Repairing a Linear Section of a Pipeline on Low-Bearing Soils]. Patent RF, No. 2010113955, 2010. [in Russian].
16. Galmutdinov N.R., Golubev M.N. *Sposob vyrezki uchastka truboprovoda* [Method of Cutting a Section of a Pipeline]. Patent RF, No. 2529972, 2014. [in Russian].
17. Konnov Yu.D., Matveev Yu.G., Khabibullin R.F., Chebotarev A.Yu. *Sposob remonta defektnykh uchastkov truboprovoda v transhee* [Method for Repairing Defective Pipeline Sections in a Trench]. Patent RF, No. 2708758, 2018. [in Russian].
18. Matveev Yu.G., Konnov Yu.D., Sidorkin D.I. *Oporno-tsentriruyushchee ustroistvo kontseвого uchastka magistral'nogo nefte- ili gazoprovoda* [Supporting-Centering Device of the End Section of the Main Oil or Gas Pipeline]. Patent RF, No. 148090, 2013. [in Russian].
19. Magura M. Interaction of Buried Pipeline with

хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2018. № 4. С. 5-10. DOI: 10.24411/0131-4270-2018-10401.

23. Burkov P.V., Burkova S.P., Filimonenko M.A. Stress-Strain State of Pipeline Depending on Complicated Environment // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2016. Vol. 43. Article Number 012044. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/43/1/012044/pdf> (дата обращения: 06.03.2021). DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012044.

24. Бурков П.В., Буркова С.П., Кузнецов А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния трубопроводов в мерзлом грунте на сильно обводненных участках трассы // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2011. № S2. С. 166-171.

25. Бурков П.В., Буркова С.П., Тимофеев В.Ю., Калмыкова К.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния участка магистрального газопровода методом конечных элементов в условиях осадки слабосвязанных грунтов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2013. № 3 (97). С. 12-15.

26. Бурков П.В., Ключ О.В., Буркова С.П. Исследование напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов проложенных в условиях вечной мерзлоты // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2011. № S2. С. 184-189.

27. Характеристика материала 08ГБЮ // *Материалы и сплавы*. URL: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=3123 (дата обращения: 06.03.2021).

Soil Under Different Loading Cases. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2016, Vol. 24, Issue 3, pp. 29-35. DOI: 10.1515/sjce-2016-0014.

20. Yalalov D.V., Valeev A.R., Askarov R.M., Khakimov T.A. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podzemnogo truboprovoda pri sdvigakh gornykh porod v zonakh aktivnykh tektonicheskikh razlomov [Development of Vibration-Proof Metamaterials Modeling of the Stress-Strain State of the Underground Pipeline During Rock Shifting in the Zones of Active Tectonic Faults]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2019, Issue 3 (119), pp. 102-112. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-3-102-112. [in Russian].

21. Nikolaev V.V. Napryazhenno-deformiruemoe sostoyanie remontiruемого uchastka truboprovoda [Stress and Strain State of Repairing Section of Pipeline]. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG - ENERGETIKA. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 2015, No. 1, pp. 82-92. [in Russian].

22. Ivantsova S.G., Budzulyak B.V. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovoda pered vyvodom v remont [Evaluation of the Stress-Strain State of the Pipeline Before the Withdrawal for Repair]. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya - Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*, 2018, No. 4, pp. 5-10. DOI: 10.24411/0131-4270-2018-10401. [in Russian].

23. Burkov P.V., Burkova S.P., Filimonenko M.A. Stress-Strain State of Pipeline Depending on Complicated Environment. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2016, Vol. 43, Article Number 012044. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/43/1/012044/pdf> (accessed 06.03.2021). DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012044.

24. Burkov P.V., Burkova S.P., Kuznetsov A.V. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovodov v merzлом грунте na sil'no obvodnennykh uchastkakh trassy [Study of the Stress-Strain State of Pipelines in Frozen Soil on Heavily Watered Sections of the Route]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) - Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2011, No. S2, pp. 166-171. [in Russian].

25. Burkov P.V., Burkova S.P., Timofeev V.Yu., Kalmykova K.G. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya uchastka magistral'nogo gazoprovoda metodom konechnykh elementov v usloviyakh osadki slabosvyazannykh gruntov [Investigation of Stress-Strain State of Main Gas Pipeline Section by Finite Element Method in the Conditions of Precipitation of Weakly Coupled Soils]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta - Bulletin of the Kuzbass State Technical University Journal*, 2013, No. 3 (97), pp. 12-15. [in Russian].

26. Burkov P.V., Klyus O.V., Burkova S.P. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podzemnykh truboprovodov prolozhennykh v usloviyakh vечноi merzloty [Study of the Stress-Strain State of Underground Pipelines Laid in Permafrost Conditions]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) - Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2011, No. S2, pp. 184-189. [in Russian].

27. Kharakteristika materiala 08GBYu [Characteristics for Grade 08GBYu]. *Marochnik stalei i splavov*. Available at: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=3123 (accessed 06.03.2021). [in Russian].

Авторы

• Шаммазов Ильдар Айратович, д-р техн. наук
Санкт-Петербургский горный университет
Профессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»
Российская Федерация, 199106,
г. Санкт-Петербург, Васильевский остров,
21 линия, 2
e-mail: shammazov@mail.ru

• Сидоркин Дмитрий Иванович, канд. техн. наук
Санкт-Петербургский горный университет
Доцент кафедры «Бурение скважин»
Российская Федерация, 199106,
г. Санкт-Петербург, Васильевский остров,
21 линия, 2
e-mail: dmsidorkin@mail.ru

• Джемилёв Энвер Русланович
Санкт-Петербургский горный университет
Аспирант кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»
Российская Федерация, 199106,
г. Санкт-Петербург, Васильевский остров,
21 линия, 2
e-mail: enver.dzhemilev@mail.ru

The Authors

• Shammazov Ildar A., Doctor of Engineering Sciences
Saint-Petersburg Mining University
Professor of Transportation and Storage of Oil and Gas Department
2, 21st Line, Saint-Petersburg, 199106,
Russian Federation
e-mail: shammazov@mail.ru

• Sidorkin Dmitriy I., Candidate of Engineering Sciences
Saint-Petersburg Mining University
Assistant Professor of Well Drilling Department
2, 21st Line, Saint-Petersburg, 199106,
Russian Federation
e-mail: dmsidorkin@mail.ru

• Dzhemilev Enver R.
Saint-Petersburg Mining University
Post-graduate Student of Transportation and Storage of Oil and Gas Department
2, 21st Line, Saint-Petersburg, 199106,
Russian Federation
e-mail: enver.dzhemilev@mail.ru