УДК 622.692.4.07

DOI: 10.17122/ntj-oil-2021-2-70-83

В.В. Акчермушев, К.В. Кожаева, И.Ф. Кантемиров, Х.А. Азметов
(Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОПОРЫ ДЛЯ НАДЗЕМНОГО ЗИГЗАГООБРАЗНО ПРОЛОЖЕННОГО ТРУБОПРОВОДА

**Vladimir V. Akchermushev, Ksenia V. Kozhaeva, Igor F. Kantemirov,
Khasan A. Azmetov** (Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation)

IMPROVEMENT OF SUPPORT DESIGN FOR ABOVE-GROUND ZIGZAG-LAYED PIPELINE

Введение

Статья посвящена совершенствованию конструкции опоры для надземного трубопровода, проложенного в виде «змейки». Зигзагообразная прокладка трубопровода в виде «змейки» используется при сооружении надземных трубопроводов с целью компенсации продольных деформаций, возникающих вследствие воздействий температурного перепада и рабочего давления. Такая конструкция прокладки предполагает использование для трубопроводов неподвижных опор, продольно-подвижных опор между вершиной угла поворота и неподвижными опорами и свободно подвижных опор на вершинах угла поворота зигзагообразно проложенного трубопровода. Компенсация продольных деформаций происходит за счет поперечного смещения вершин углов поворота и продольно-поперечного смещения трубопровода на подвижных опорах в горизонтальной плоскости.

Background

The article is devoted to the improvement of the structure of the support for the above-ground pipeline, laid in the form of a «snake». Snake-shaped pipeline is used in the construction of above-ground pipelines in order to compensate for longitudinal deformations arising from the effects of temperature difference and operating pressure. Such a laying design involves the use of fixed supports for pipelines, longitudinally movable supports between the apex of the angle of rotation and fixed supports and freely movable supports at the tops of the angle of rotation of a zigzag laid pipeline. Compensation of longitudinal deformations occurs due to the lateral displacement of the tops of the turning angles and the longitudinal-transverse displacement of the pipeline on movable supports in the horizontal plane.

Поперечные и продольно-поперечные перемещения трубопровода приводят к возникновению напряжений изгиба в стенке труб. С увеличением указанных перемещений напряжения изгиба возрастают, и снижается ресурс трубопровода.

Существующие конструкции опор при их использовании для зигзагообразно проложенного трубопровода в условиях воздействия высокого положительного температурного перепада могут привести к таким перемещениям трубопровода, при которых изгибающие напряжения превысят допустимые значения. Следовательно, необходимо совершенствование конструкции опор для надземного зигзагообразно проложенного трубопровода, обеспечивающее снижение его перемещений.

Цели и задачи

Совершенствование конструкции опор для надземного зигзагообразно проложенного трубопровода, обеспечивающее снижение его продольно-поперечных перемещений.

Результаты

Предложена усовершенствованная конструкция опоры для надземного трубопровода, проложенного в виде «змейки». Усовершенствованная конструкция опоры обеспечивает снижение продольно-поперечных перемещений трубопровода в условиях воздействия высокого положительного температурного перепада.

Transverse and longitudinal-transverse movements of the pipeline lead to bending stresses in the pipe wall. With an increase in these displacements, the bending stresses increase, and the resource of the pipeline decreases.

The existing structures of supports, when used for a zigzag laid pipeline under conditions of exposure to a high positive temperature difference, can lead to such displacements of the pipeline, in which bending stresses will exceed permissible values. Consequently, it is necessary to improve the design of supports for an overhead zigzag laid pipeline, ensuring a decrease in its movements.

Aims and Objectives

Improving the design of the support for an overhead zigzag-laid pipeline, ensuring a decrease in its longitudinal-transverse displacements.

Results

An improved design of a support for above-ground snake-shaped pipeline is proposed. The improved design of the support provides a decrease in the longitudinal-transverse displacements of the pipeline under conditions of exposure to a high positive temperature difference.

Ключевые слова: надземный трубопровод; прокладка трубопровода «змейкой»; опора неподвижная; опора продольно-подвижная; опора свободно подвижная; совершенствование конструкции опоры; упругий элемент; коэффициент трения

Key words: above-ground pipeline; laying snake-shaped pipeline; fixed support; longitudinally movable support; free-movable support; support design improvement; elastic element; friction coefficient

Надземная прокладка трубопроводов в особых природных условиях, в том числе в условиях многолетнемерзлых грунтов и болот является основным способом обеспечения безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов [1]. Однако при этом необходимо соблюдать определенные требования к конструкциям и техническим ха-

Above ground laying of pipelines in special natural conditions, including in conditions of permafrost soils and swamps, is the main way to ensure the safe operation of main pipelines [1]. However, in this case, it is necessary to comply with certain requirements for the structures and technical characteristics of the sup-

рактическим применением опор, а также к форме компенсационных участков. Особое внимание следует уделять взаимодействию трубопровода с опорами в условиях воздействия высокого положительного температурного перепада [2].

Прокладка надземных трубопроводов в условиях высоких значений положительного температурного перепада преимущественно осуществляется в виде компенсационных участков. Авторы работы [3] рассматривают напряженно-деформированное состояние трубопроводов с Z-образными компенсаторами и дают рекомендации по расстановке опор, приводящей к допустимым значениям суммарных продольных напряжений, не достигающих предела текучести металла трубы. В работе [4] авторы приводят решения по оптимальным конструктивным параметрам компенсационных участков с учетом деформативности и напряженного состояния надземных трубопроводов. Автор работы [5] на конкретном примере существующего надземного нефтепровода анализирует конструктивные решения компенсаторов, доказывая значительные преимущества трапециoidalной формы компенсационного участка.

Имеется ряд работ, посвященных конструкциям опор надземных трубопроводов. Представляют интерес конструкции опор, применяемых на участках надземной прокладки нефтепровода «Заполярье - НПС «Пурпе»», которые представлены в трех вариантах: неподвижные, продольно-подвижные и свободно подвижные. В работе [6] авторы рассматривают основные технические решения по конструкциям опор для участков надземной прокладки трубопроводной системы «Заполярье – НПС «Пурпе»» и их отличительные особенности, которые придают им уникальность. В статье [7] исследуются напряженно-деформированное состояние и прочность конструкций неподвижных, продольно-подвижных и свободно подвижных опор надземного нефтепровода «Заполярье - НПС «Пурпе»». В нормативном документе [8] указаны конструктивные требования к этим опорам, а также требования к их монтажу, надежности и безопасности.

ports used, as well as the shape of the compensation sections. Particular attention should be paid to the interaction of the pipeline with the supports under conditions of exposure to a high positive temperature difference [2].

The laying of aboveground pipelines in conditions of high values of the positive temperature difference is mainly carried out in the form of compensation sections. The authors of [3] consider the stress-strain state of pipelines with Z-shaped expansion joints and give recommendations on the placement of supports, leading to permissible values of the total longitudinal stresses that do not reach the yield point of the pipe metal. In [4], the authors provide solutions for the optimal design parameters of the compensation sections, taking into account the deformability and stress state of aboveground pipelines. The author of [5] analyzes the design solutions of expansion joints using a specific example of an existing aboveground oil pipeline, proving the significant advantages of the trapezoidal shape of the expansion section.

There are a number of works devoted to the construction of supports for aboveground pipelines. Of interest are the structures of the supports used in the sections of the aboveground laying of the Zapolyarye - OPS Purpe oil pipeline, which are presented in three versions: fixed, longitudinally movable and freely movable. In work [6], the authors consider the main technical solutions for the structures of supports for sections of the above-ground laying of the pipeline system Zapolyarye - OPS Purpe and their distinctive features that make them unique. The article [7] investigates the stress-strain state and strength of structures of fixed, longitudinally movable and freely movable supports of the above-ground oil pipeline Zapolyarye - OPS Purpe. The regulatory document [8] indicates the design requirements for these supports, as well as the requirements for their installation, reliability and safety. The authors of [9], in accordance with the requirements of [8], carried

Авторы работы [9] в соответствии с требованиями [8] провели опытно-конструкторскую работу по всем видам опор (неподвижным, продольно-подвижным и свободно подвижным), в результате которой были подтверждены прочностные характеристики опор, заявленный срок службы опор, устойчивость и работоспособность подвижных опор под воздействием нагрузок, а также определены материалы для скользящей пары трения подвижных опор. В работе [10] рассматриваются требования к проведению контроля качества и оценке результатов контроля опор нефтепровода «Заполярье-НПС «Пурпе»». Надежность и безопасность трубопроводных систем нефтегазовой отрасли в сложных условиях их эксплуатации рассмотрены в работе [11].

Известно, что при сооружении надземных трубопроводов с целью компенсации продольных деформаций, возникающих вследствие воздействия температурного перепада и рабочего давления, используется зигзагообразная прокладка трубопровода в виде «змейки» [12]. Такая конструкция прокладки предполагает использование неподвижных опор по концам участка, продольно-подвижных опор между вершиной угла поворота и неподвижным концом участка и свободно подвижной опоры на вершине угла поворота зигзагообразно проложенного участка трубопровода (рисунок 1).

out experimental design work on all types of supports (fixed, longitudinally movable and freely movable), as a result of which the strength characteristics of the supports, the declared service life of the supports, the stability and performance of the movable supports under the influence of loads, and also determined the materials for the sliding pair of friction of the movable supports. The paper [10] discusses the requirements for quality control and assessment of the results of monitoring the supports of the Zapolyarye-OPS Purpe oil pipeline. The reliability and safety of pipeline systems in the oil and gas industry in difficult operating conditions are considered in [11].

It is known that in the construction of above-ground pipelines in order to compensate for longitudinal deformations arising from the effect of temperature difference and operating pressure, a zigzag pipe laying in the form of a «snake» is used [12]. Such a laying design involves the use of fixed supports at the ends of the section, longitudinally movable supports between the top of the angle of rotation and the fixed end of the section and a freely movable support at the top of the angle of rotation of a zigzag-laid pipeline section (Figure 1).

L - расстояние между неподвижными опорами

L - distance between fixed supports

1 - трубопровод; 2 - неподвижная опора; 3 - продольно-подвижная опора;

4 - свободно-подвижная опора; 5 - вершина угла поворота трубопровода

1 - pipeline; 2 - fixed support; 3 - longitudinally movable support;

4 - freely movable support; 5 - the top of the angle of rotation of the pipeline

Рисунок 1. Схема зигзагообразной прокладки надземного трубопровода в виде «змейки»

Figure 1. Scheme of zigzag laying of the above-ground snake-shaped pipeline

Компенсация продольных деформаций трубопровода происходит за счет поперечного смещения вершин углов поворота и продольно-поперечного смещения трубопровода на подвижных опорах в горизонтальной плоскости. При этом наибольшие смещения трубопровода возникают на вершине углов поворота. Высокие значения положительного температурного перепада, определяемого как разность температур металла труб при эксплуатации и строительстве, могут привести к возникновению чрезмерных смещений с высоким напряжением изгиба.

Существующие конструкции опор, особенно свободно подвижных, при их использовании для зигзагообразно проложенного трубопровода могут привести к большим перемещениям трубопровода на вершине угла поворота, что, в свою очередь, может вызвать возникновение таких напряжений изгиба, которые превышают допустимые значения. Таким образом, конструкция опор должна обеспечивать перемещения трубопровода в допустимых пределах.

Одним из эффективных способов снижения чрезмерных перемещений трубопровода между неподвижными опорами является повышение сил сопротивления продольно-поперечным перемещениям трубопровода на подвижных опорах. Повышение сил сопротивления продольным и поперечным перемещениям достигается применением материалов с высоким коэффициентом трения и увеличением сил прижатия между контактирующими поверхностями.

Сила трения от продольного перемещения трубопровода в опоре может быть определена по известной формуле

$$T = N \cdot f_{\text{т}}, \quad (1)$$

где N - нормальное (перпендикулярное к поверхности) усилие между трубопроводом и опорой, Н;

$f_{\text{т}}$ - коэффициент трения.

Compensation of longitudinal deformations of the pipeline occurs due to the lateral displacement of the tops of the turning angles and the longitudinal-transverse displacement of the pipeline on movable supports in the horizontal plane. In this case, the greatest displacements of the pipeline occur at the apex of the turning angles. High values of the positive temperature difference, defined as the temperature difference between the metal of the pipes during operation and construction, can lead to the occurrence of excessive displacements with high bending stress.

The existing structures of supports, especially freely movable ones, when used for a zigzag laid pipeline, can lead to large displacements of the pipeline at the apex of the angle of rotation, which in turn can cause the occurrence of such bending stresses that exceed permissible values. Thus, the design of the supports must ensure that the pipeline moves within acceptable limits.

One of the effective ways to reduce excessive pipeline movements between fixed supports is to increase the forces of resistance to longitudinal-transverse movements of the pipeline on movable supports. An increase in the forces of resistance to longitudinal and transverse displacements is achieved by using materials with a high coefficient of friction and an increase in pressing forces between the contacting surfaces.

The friction force from the longitudinal movement of the pipeline in the support can be determined by the well-known formula

where N - normal (perpendicular to the surface) force between the pipeline and the support, N;

$f_{\text{т}}$ - coefficient of friction.

Нормальное усилие N возникает на опорах от веса трубопровода Q с продуктом протяженностью l_0 , где l_0 – расстояние между опорами.

Вес трубопровода равен

$$Q = q \cdot l_0, \quad (2)$$

где q – вес единичной длины трубопровода с продуктом (Н/м).

Это усилие действует на нижнюю половину кругового сечения упругого элемента в хомуте на опоре. Примем, что это усилие воспринимается нижней половиной кругового сечения упругого элемента равномерно.

Протяженность нижней половины равна $0,5\pi D_H$, где D_H – наружный диаметр трубопровода, м.

Площадь упругого элемента, которая воспринимает это усилие, равна

$$F_3 = 0,5\pi D_H C, \quad (3)$$

где C – ширина упругого элемента, измеряемая по продольной оси трубопровода и равная длине хомута, м.

Давление на упругий элемент от веса Q с учетом (2) будет

$$p_Q = \frac{Q}{0,5\pi D_H C} = \frac{2ql_0}{\pi D_H C}. \quad (4)$$

С целью эффективного функционирования опоры необходимо обеспечивать прижатие упругого элемента по всей поверхности трубы, то есть по всей длине окружности наружного диаметра трубопровода. Для этого при помощи хомутов производится прижатие упругого элемента к наружной поверхности трубы. Равенство давлений на упругий элемент от прижатия хомутом в верхней части трубы p_w и от веса трубопровода p_Q в нижней части трубы будет обеспечено при условии

Normal force N occurs on the supports from the weight of the pipeline Q with the product length l_0 , where l_0 is the distance between the supports.

The weight of the pipeline is

where q is the weight of the unit length of the pipeline with the product (N / m).

This force acts on the lower half of the circular section of the elastic element in the clamp on the support. Let us assume that this force is uniformly perceived by the lower half of the circular section of the elastic element.

The length of the lower half is equal to $0,5\pi D_H$, where D_H is the outer diameter of the pipeline, m.

The area of the elastic element that receives this force is equal to

where C is the width of the elastic element, measured along the longitudinal axis of the pipeline and equal to the length of the clamp, m. The pressure on the elastic element from the weight Q , taking into account (2), will be

For the purpose of the effective functioning of the support, it is necessary to ensure the pressing of the elastic element over the entire surface of the pipe, that is, along the entire circumference of the outer diameter of the pipeline. For this, with the help of clamps, the elastic element is pressed against the outer surface of the pipe. The equality of the pressures on the elastic element from the clamping of the clamp in the upper part of the pipe p_w and from the weight of the pipeline p_Q in the lower part of the pipe will be ensured under the condition

$$p_Q = p_w, \quad (5)$$

$$\text{где } p_w = k_0 w. \quad (6)$$

Здесь k_0 – коэффициент сопротивления упругого элемента единичной площади сжатия, Н/м³;

w – радиальное перемещение стенки хомута при прижатии упругого элемента, определяется непосредственным измерением в процессе сборки опоры.

Решая совместно (4), (5) и (6), находим необходимое значение w с целью достижения условия (5).

Таким образом, имеем

$$w = \frac{2ql_0}{\pi D_H C k_0}. \quad (7)$$

Увеличение силы трения T достигается повышением коэффициента трения f_T и нормального усилия N .

Для рассматриваемой конструкции коэффициент f_T – постоянная величина, а усилие N может быть увеличено в пределах допустимых значений с точки зрения обеспечения сохранности свойств упругого элемента по назначению, то есть иметь высокий коэффициент трения f_T от напряжения сжатия.

Усилие N может быть выражено через вышеприведенные величины следующим образом.

От давления прижатия упругого элемента хомутом имеем

$$\text{where } p_w = k_0 w. \quad (6)$$

Here k_0 is the coefficient of resistance of an elastic element of a unit area to compression, N / m³;

w is the radial movement of the clamp wall when pressing the elastic element is determined by direct measurement during the assembly of the support.

Solving together (4), (5) and (6), we find the required value w in order to achieve condition (5).

Thus, we have

An increase in the friction force T is achieved by increasing the friction coefficient f_T and normal force N .

For the structure under consideration, the coefficient f_T is a constant, and the force N can be increased within the limits of permissible values from the point of view of ensuring the preservation of the properties of the elastic element for its intended purpose, that is, to have a high friction coefficient f_T from compression stress.

The force N can be expressed in terms of the above values as follows.

From the pressure of pressing the elastic element by the clamp, we have

$$N_w = p_w F_3. \quad (8)$$

Используя (3) и (6), получено

Using (3) and (6), we obtained

$$N_w = 0,5\pi D_H C k_0 w. \quad (9)$$

От прижатия упругого элемента весом трубы

From pressing the elastic element by the weight of the pipe

$$N_Q = p_Q F_3. \quad (10)$$

Используя (3) и (4), имеем

Using (3) and (4), we have

$$N_Q = q \cdot l_0. \quad (11)$$

Условие обеспечения сохранности свойств упругого элемента по назначению, то есть необходимое условие для выбора материала упругого элемента в данной конструкции, при действии напряжений сжатия записывается так

The condition for ensuring the preservation of the properties of an elastic element for its intended purpose, that is, a necessary condition for choosing the material of an elastic element in a given structure, under the action of compressive stresses is written as follows

$$\sigma_1, \sigma_2 \leq [\sigma], \quad (12)$$

в котором σ_1 - напряжения сжатия, действующие на упругий элемент от действия веса трубопровода и определяемые из аналитического выражения

where σ_1 is the compressive stresses acting on the elastic element from the action of the pipeline weight and determined from the analytical expression

$$\sigma_1 = \frac{2ql_0}{\pi D_n \cdot C}, \quad (13)$$

σ_2 - напряжения сжатия упругого элемента хомутом и определяемые из аналитического выражения

σ_2 is compressive stresses of the elastic element by the clamp and determined from the analytical expression

$$\sigma_2 = k_0 w, \quad (14)$$

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение на упругий элемент, выше которого упругий элемент теряет способность по назначению иметь высокий коэффициент трения, МПа.

$[\sigma]$ is the permissible stress on the elastic element, above which the elastic element loses its ability to have a high coefficient of friction for its intended purpose, MPa.

Используя (12) и (13), имеем условие для определения ширины упругого элемента

Using (12) and (13), we have the condition for determining the width of the elastic element

$$C \geq \frac{2ql_0}{\pi D_n \cdot [\sigma]}. \quad (15)$$

Результат снижения перемещений можно достичь путем совершенствования существующих конструкций опор для надземных трубопроводов на основе ис-

Результат снижения перемещений можно достичь путем совершенствования существующих конструкций опор для надземных трубопроводов на основе ис-

пользования аналитических зависимостей (1)-(15). Предлагаемое техническое решение усовершенствованной конструкции опор приведено на рисунке 2.

пользования аналитических зависимостей (1)-(15). Предлагаемое техническое решение усовершенствованной конструкции опор приведено на рисунке 2.

- 1 - полый коробчатый корпус;
- 2 - строительная конструкция;
- 3 - связывающая плита;
- 4 - съемная прокладка;
- 5 - хомут;
- 6 - крепежные элементы;
- 7 - упругий элемент

- 1 - hollow box-shaped body;
- 2 - building structure;
- 3 - connecting plate;
- 4 - removable gasket;
- 5 - clamp;
- 6 - fasteners;
- 7 - elastic element

Рисунок 2. Конструктивная схема предлагаемой опоры для надземного трубопровода

Figure 2. Structural diagram of the proposed support for the aboveground pipeline

Опора для надземного трубопровода содержит полый коробчатый корпус 1, основание которого вставлено в пазы жестко закрепленной со строительной конструкцией 2 связывающей плиты 3, на которой расположена съемная прокладка 4. Полый коробчатый корпус 1, в свою очередь, жестко соединен с хомутом 5, прижимающимся к трубопроводу крепежными элементами 6, и покрыт с внутренней стороны упругим элементом 7.

Съемную прокладку и упругий элемент необходимо выполнять из материала, имеющего повышенный коэффициент трения в пределах от 0,6 и более. Размеры паза необходимо подбирать с учетом расчетных поперечных перемещений трубопровода в горизонтальной плоскости.

Монтаж предлагаемой опоры для надземного трубопровода проводится следующим образом. На строительной конструкции 2 жестко закрепляют связывающую плиту 3, на которую укладывают съемную прокладку 4. В пазы связывающей плиты 3 вставляют основание полого коробчатого корпуса 1 с жестко соединенным на нем хомутом 5 (рисунок 3). В хомут вводят трубопровод и стягивают его крепежными элементами 6 и упругим элементом 7, расположенным между трубой и хомутом 5.

При воздействии температурного перепада трубопровод перемещается вдоль своей оси, скользя по упругому элементу 7 в хомуте 5.

На вершине угла поворота зигзагообразно проложенного трубопровода перемещения происходят перпендикулярно оси, в этом случае основание полого коробчатого корпуса 1 скользит по съемной прокладке 4 в пазах связывающей плиты 3.

С увеличением сил прижатия хомута 5 к трубопроводу через упругий элемент 7 регулируют перемещения эксплуатируемого трубопровода в продольном направлении.

Выбрав материал прокладки 4 в зависимости от необходимого коэффициента трения, регулируют перемещения эксплуатируемого трубопровода в поперечном направлении.

The support for the aboveground pipeline contains a hollow box-shaped body 1, the base of which is inserted into the grooves of a connecting plate 3 rigidly fixed to the building structure 2, on which a removable gasket is located 4. The hollow box-like body 1, in turn, is rigidly It is connected to a clamp 5, which is pressed against the pipe-wire by fasteners 6, and is covered from the inside with an elastic element 7.

A removable gasket and an elastic element must be made of a material having an increased coefficient of friction in the range of 0.6 or more. The dimensions of the groove must be selected taking into account the calculated transverse displacements of the pipeline in the horizontal plane.

Installation of the proposed support for the above-ground pipeline is carried out as follows. The connecting plate 3 is rigidly fixed on the building structure 2, on which the removable gasket 4 is laid. The base of the hollow box-shaped body 1 with the clamp 5 rigidly connected to it is inserted into the grooves of the connecting plate 3 (Figure 3). A pipeline is introduced into the clamp and tightened with fasteners 6 and an elastic element 7 located between the pipe and the clamp 5.

When exposed to a temperature difference, the pipeline moves along its axis, sliding along the elastic element 7 in the clamp 5.

At the top of the angle of rotation of the zigzag laid pipeline, the displacements occur perpendicular to the axis, in this case the base of the hollow box-type body 1 slides along the removable gasket 4 in the grooves of the connecting plate 3.

With an increase in the pressing forces of the clamp 5 to the pipeline through the elastic element 7, the movements of the operated pipeline in the longitudinal direction are regulated.

Having chosen the material of the gasket 4, depending on the required coefficient of friction, the movements of the operated pipeline in the transverse direction are regulated.

Рисунок 3. Схема монтажа основания полого коробчатого корпуса в пазы связывающей плиты

Figure 3. Installation diagram of the base of the hollow box-shaped body in the grooves of the connecting plate

В качестве материала упругого элемента и съемной прокладки можно использовать резину различных марок в зависимости от необходимого коэффициента трения f_T , который может варьировать от 0,6 и более.

Предлагаемая конструкция опоры может быть использована при прокладке надземных трубопроводов в виде «змейки», поскольку такая конструкция предполагает использование и неподвижных опор по концам зигзагообразно проложенного участка, и продольно-подвижных опор между неподвижно-закрепленным концом и вершиной угла поворота, и свободно-подвижных опор на вершине угла поворота. Коэффициент трения в предлагаемой конструкции опоры

As a material of an elastic element and a removable gasket, you can use rubber of various brands, depending on the required friction coefficient f_T , which can vary from 0.6 and more.

The proposed support design can be used when laying above-ground pipelines in the form of a "snake", since such a design involves the use of both fixed supports at the ends of a zigzag laid section, and longitudinally movable supports between the fixed end and the apex of the angle of rotation, and freely movable supports at the apex of the angle of rotation. The friction coefficient in the proposed support design significantly affects the displacement of the

существенно влияет на перемещения эксплуатируемого трубопровода, и обоснованный подбор коэффициента трения позволит обеспечить допустимые перемещения трубопровода при его эксплуатации.

Вывод

Проведен анализ существующих опор для надземных трубопроводов. Указана необходимость усовершенствования опор для надземных трубопроводов, проложенных в виде «змейки» на основе достижения повышения сил трения на опорах при перемещениях трубопровода.

Предложена усовершенствованная конструкция опор. Даны расчетные формулы для обоснования конструкции опоры и выбора материалов с высоким коэффициентом трения.

Применение предлагаемой конструкции опор позволит повысить надежность надземных трубопроводов.

pipeline in operation, and a reasonable selection of the friction coefficient will ensure the permissible displacement of the pipeline during its operation.

Conclusion

The analysis of the existing supports for aboveground pipelines is carried out. The necessity of improving the supports for aboveground pipelines, laid in the form of a "snake" on the basis of achieving an increase in the friction forces on the supports when the pipeline is moved, is indicated.

An improved support design is proposed. Calculation formulas are given to substantiate the structure of the support and the choice of materials with a high coefficient of friction.

The use of the proposed construction of supports will improve the reliability of aboveground pipelines.

Список литературы

1. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85. М.: Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2012. 92 с.
2. Мустафин Т.Р., Кудрявцев А.О. Оценка напряженно-деформированного состояния надземных нефтепроводов в зоне их взаимодействия с опорными конструкциями в условиях многолетнемерзлых грунтов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 3. С. 20-23. DOI: 10.24411/0131-4270-2019-10304.
3. Гимазетдинов И.Р., Шадрин В.С., Гумеров А.К. Некоторые особенности напряженного состояния трубопроводов с Z-образными компенсаторами // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. Вып. 2 (96). С. 113-118.
4. Быков Л.И., Бешерян З.А. Исследование деформативности и напряженного состояния надземных трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Вып. 2 (118). С. 81-90. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-2-81-90.
5. Мальцев С.А. Анализ конструктивных решений компенсаторов надземных нефтепроводов

References

1. SP 36.13330.2012. *Magistral'nye truboprovody. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.05.06-85* [SP 36.13330.2012. Trunk Pipelines. Updated Edition SNIp 2.05.06-85]. Moscow, Gosstroj, FAU «FTsS» Publ., 2012. 92 p. [in Russian].
2. Mustafin T.R., Kudryavtsev A.O. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya nadzemnykh nefteprovodov v zone ikh vzaimodeistviya s opornymi konstruktsiyami v usloviyakh mnogoletnemerzlykh gruntov [Assessment of the Stress-Strain State of Above-Ground Oil Pipelines in the Area of Their Interaction with Supporting Structures in Permafrost Soils]. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya - Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*, 2019, No. 3, pp. 20-23. DOI: 10.24411/0131-4270-2019-10304. [in Russian].
3. Gimazetdinov I.R., Shadrin V.S., Gumerov A.K. Nekotorye osobennosti napryazhennogo sostoyaniya truboprovodov s Z-obraznymi kompensatorami [Some Features of Stressed State of a Pipeline with Z-Shaped Compensators]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2014, Issue 2 (96), pp. 113-118. [in Russian].

в районах высокого градиента температур на примере нефтепровода Харьягинского нефтяного месторождения // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2020. № 1 (12). С. 31-39.

6. Лисин Ю.В., Сощенко А.Е., Бондаренко В.В., Суриков В.И., Михеев Ю.Б. Основные технические решения по конструкциям опор трубопроводов для участков надземной прокладки трубопроводной системы «Заполярье - НПС «Пурпе» // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2013. № 6 (40). С. 4-7.

7. Суриков В.И., Варшицкий В.М., Бондаренко В.В., Коргин А.В., Богач А.А. Применение метода конечных элементов при расчете на прочность опор трубопроводов для участков надземной прокладки нефтепровода «Заполярье - НПС «Пур-Пе» // Вестник МГСУ. 2014. № 1. С. 66-74.

8. СТТ-23.040.00-КТН-045-12. Опоры для трубопроводов на участках надземной прокладки трубопроводной системы «Заполярье - НПС «Пур-Пе». М.: Транснефть, 2019. 95 с.

9. Суриков В.И., Бондаренко В.В., Коргин А.В., Шонин К.С., Михеев Ю.Б. Испытания опор трубопровода для участков надземной прокладки под воздействием эксплуатационных нагрузок с целью подтверждения их прочности и долговечности // Вестник МГСУ. 2014. № 3. С. 117-125.

10. Бондаренко В.В., Бизин И.В., Сечкин П.В., Шакиров П.Р. Обеспечение качества опор трубопроводов для нефтепровода «Заполярье-Пурпе» // Нефтегазовая Вертикаль. 2014. № 8. С. 28-30.

11. Махутов Н.А., Пермьяков В.Н. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов. Новосибирск: Наука, 2005. 515 с.

12. Петров И.П., Спиридонов В.В. Надземная прокладка трубопроводов. М.: Недра, 1973. 470 с.

4. Bykov L.I., Besheryan Z.A. Issledovanie deformativnosti i napryazhennogo sostoyaniya nadzemnykh truboprovodov na mnogoletneremzlykh gruntakh [Study of Deformation and Stress State of Overhead Pipelines on the Permafrost Soils]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2019, Issue 2 (118), pp. 81-90. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-2-81-90. [in Russian].

5. Mal'tsev S.A. Analiz konstruktivnykh reshenii kompensatorov nadzemnykh nefteprovodov v raionakh vysokogo gradienta temperatur na primere nefteprovoda Khar'yaginskogo neftyanogo mestorozhdeniya [Analysis of Structural Solutions of Compensators of Overground Oil Pipelines in Areas of High Temperature Gradient on the Example of Oil Pipeline of Kharyaga Oil Field]. *Zhilishchnoe khozyaistvo i kommunal'naya infrastruktura - Housing and Utilities Infrastructure*, 2020, No. 1 (12), pp. 31-39. [in Russian].

6. Lisin Yu.V., Soshchenko A.E., Bondarenko V.V., Surikov V.I., Mikheev Yu.B. Osnovnye tekhnicheskie resheniya po konstrukttsiyam opor truboprovodov dlya uchastkov nadzemnoi prokladki truboprovodnoi sistemy «Zapolyar'e - NPS «Purpe» [The Main Technical Solutions for the Constructions of Pipeline Supports for the Areas of Above-Ground Routing of the Pipeline System «Zapolyarye - Oil Pumping Station Purpe»]. *Truboprovodnyi transport: teoriya i praktika - Pipeline Transport: Theory and Practice*, 2013, No. 6 (40), pp. 4-7. [in Russian].

7. Surikov V.I., Varshitskii V.M., Bondarenko V.V., Korgin A.V., Bogach A.A. Primenenie metoda konechnykh elementov pri raschete na prochnost' opor truboprovodov dlya uchastkov nadzemnoi prokladki nefteprovoda «Zapolyar'e - NPS «Pur-Pe» [Using Finite Element Method in the Process of Strength Calculation for the Pipeline Supports in Above-Ground area of «Zapolyare - NPS «Pur-Pe» Oil Pipeline]. *Vestnik MGSU - Vestnik MGSU*, 2014, No. 1, pp. 66-74. [in Russian].

8. СТТ-23.040.00-КТН-045-12. Опоры для трубопроводов на участках надземной прокладки трубопроводной системы «Заполярье - НПС «Пур-Пе» [STT-23.040.00-КТН-045-12. Supports for Pipelines in the Sections of the Above-Ground Laying of the Pipeline System «Zapolyarye - PS «Pur-Pe»]. Moscow, Transneft Publ., 2019. 95 p. [in Russian].

9. Surikov V.I., Bondarenko V.V., Korgin A.V., Shonin K.S., Mikheev Yu.B. Ispytaniya opor truboprovoda dlya uchastkov nadzemnoi prokladki pod vozdeistviem ekspluatatsionnykh nagruzok s tsel'yu podtverzhdeniya ikh prochnosti i dolgovechnosti [Strength and Durability Tests of Pipeline Supports for the Areas of Above-Ground Routing Under the Influence of Operational Loads]. *Vestnik MGSU - Vestnik MGSU*, 2014, No. 3, pp. 117-125. [in Russian].

10. Bondarenko V.V., Bizin I.V., Sechkin P.V., Shakirov P.R. Obespechenie kachestva opor truboprovodov dlya nefteprovoda «Zapolyar'e-Purpe» [Quality Assurance of Pipeline Supports for the «Zapolyarye-Purpe» Oil Pipeline]. *Neftegazovaya*

Vertikal' - Oil and Gas Vertical, 2014, No. 8, pp. 28-30. [in Russian].

11. Makhutov N.A., Permyakov V.N. *Resurs bezopasnoi ekspluatatsii sosudov i truboprovodov* [Resource for the Safe Operation of Vessels and Pipelines]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005. 515 p. [in Russian].

12. Petrov I.P., Spiridonov V.V. *Nadzemnaya prokladka truboprovodov* [Above Ground Pipelines]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 470 p. [in Russian].

Авторы

• Акчермушев Владимир Васильевич
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Аспирант кафедры «Сооружение и ремонт
газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 8/3
тел. (347) 242-08-14
e-mail: zav_bk@mail.ru

• Кожеева Ксения Валерьевна, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Сооружение и ремонт
газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 8/3
тел. (347) 242-08-14
e-mail: msjealous@mail.ru

• Кантемиров Игорь Финсурович, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры «Сооружение и ремонт
газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 8/3
тел. (347) 243-19-56
e-mail: ikant@mail.ru

• Азметов Хасан Ахметзиевич, д-р техн. наук,
профессор
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры «Сооружение и ремонт
газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: st@rusoil.net

The Authors

• Akchermushev Vladimir V.
Ufa State Petroleum Technological University
Postgraduate of Gas and Oil Pipelines and Storage
Facilities Construction and Repair Department
8/3, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
tel: (347) 242-08-14
e-mail: zav_bk@mail.ru

• Kozhaeva Ksenia V., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Gas and Oil Pipelines
and Storage Facilities Construction and Repair
Department
8/3, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
tel: (347) 242-08-14
e-mail: msjealous@mail.ru

• Kantemirov Igor F., Doctor of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Gas and Oil Pipelines and Storage
Facilities Construction and Repair Department
8/3, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
tel: (347) 242-08-14
e-mail: ikant@mail.ru

• Azmetov Khasan A., Doctor of Engineering
Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Gas and Oil Pipelines and Storage
Facilities Construction and Repair Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: st@rusoil.net