

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-3-102-112

УДК 622.692.4.053

Д.В. Ялалов, А.Р. Валеев, Р.М. Аскарлов, Т.А. Хакимов (Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Российская Федерация)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ СДВИГАХ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНАХ АКТИВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ

Denis V. Yalalov, Anvar R. Valeev, Robert M. Askarov, Timur A. Khakimov
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

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

Введение

В России на протяжении долгого времени магистральные трубопроводы сооружаются без учета влияния геодинамических зон на положение трубопровода.

Изменение положения трубопровода в геодинамических зонах может проявляться в силу сейсмической активности, оползней, карстов, на границах тектонических разломов. Наиболее распространенными первичными движениями по разломам являются сдвиги, взбросы и сбросы, а также одновременное совместное воздействие этих движений. Локальное изменение положения трубопровода, происходящее при этих воздействиях, вызывает дополнительные напряжения от его изгиба, и общее напряженно-деформированное состояние ухудшается, что может привести к разрушению трубопровода и авариям.

Background

For a long time in Russia, trunk pipelines have been constructed without taking into account the influence of geodynamic zones on pipeline position.

A change in pipeline position in geodynamic zones may occur due to seismic activity, landslides, karst, on the boundaries of tectonic faults. The most common primary movements along faults are shifts, reverse faults and faults, as well as simultaneous joint effects of these movements. The local change in the position of the pipeline that occurs under these effects causes additional stresses from its bending, and the overall stress-strain state worsens, which can lead to the destruction of the pipeline and accidents.

Цели и задачи

Задачей данного исследования является определение того, насколько влияют локальные движения грунта на напряженно-деформированное состояние трубопровода.

Методы

Напряженно-деформированное состояние магистрального трубопровода в данной работе оценивается с помощью программного комплекса ANSYS. Для этого в программе строится модель трубопровода в грунте. Локальное движение грунта рассматривается на примере сдвига горных пород в зоне активных тектонических разломов. На первом этапе расчета форма траншеи для трубопровода не имеет значения, поскольку траншея засыпается грунтом, не отличающимся от грунта за пределами траншеи. Моделируется сдвиг грунта, определяются максимальные напряжения и деформация металла трубопровода. На втором этапе расчета моделируются две различные формы траншеи - прямоугольная и трапециевидная. Расчет производится для различных грунтов засыпки.

Результаты

По результатам расчета в работе определена зависимость напряжений в трубопроводе от типа грунта и значения предельных смещений грунта, не вызывающих разрушающие напряжения в трубопроводе. Выявлено, что засыпка траншеи более плотным грунтом приводит к снижению максимально возможного смещения грунта, а засыпка менее плотным грунтом - к увеличению предела сдвига грунта. Также определено, что в траншеях трапециевидной формы грунт можно сдвинуть на большее расстояние, чем в траншеях прямоугольной формы.

Таким образом, для улучшения напряженно-деформированного состояния трубопровода в зонах активных тектонических разломов рекомендуется применять засыпку траншеи несвязным грунтом и при этом использовать грунт засыпки с меньшей плотностью и меньшим модулем деформации, а также в качестве формы траншеи выбирать трапециевидную.

Aims and Objectives

The objective of this study is to determine the extent to which local ground movements affect the stress-strain state of a pipeline.

Methods

The stress-strain state of the trunk pipeline in this work is estimated using the ANSYS software package. To do this, the program builds a model of the pipeline in the ground. The local movement of the soil is considered on the example of the shift of rocks in the zone of active tectonic faults. At the first stage of calculation, the shape of the trench for the pipeline does not matter, since the trench is filled with soil that does not differ from the soil outside the trench. The soil shear is simulated, the maximum stresses and the strain of the pipeline metal are determined. At the second stage of the calculation, two different forms of the trench are modeled - rectangular and trapezoidal. The calculation is made for different soil backfill.

Results

According to the results of the calculation, the dependence of the stresses in the pipeline on the type of soil and the values of the soil maximum displacements that do not cause destructive stresses in the pipeline are determined. It was revealed that filling the trench with more dense soil leads to a decrease in the maximum possible displacement of the soil, and filling it with a less dense soil leads to an increase in the soil shear limit. It was also determined that in trapezoidal trenches the soil can be moved a greater distance than in rectangular trenches.

Thus, to improve the stress-strain state of the pipeline in areas of active tectonic faults, it is recommended to use a trench filling with disconnected soil and at the same time to use a filling soil with a lower density and a smaller deformation modulus, and also choose a trapezoidal trench.

Ключевые слова: подземный трубопровод; напряженно-деформированное состояние; сдвиги горных пород

Key words: underground pipeline; stress-strain state; rock shifts

На протяжении долгого времени магистральные трубопроводы в России сооружаются без учета влияния геодинамических зон на положение трубопровода. По мере длительной эксплуатации трубопроводов, насчитывающей десятилетия, происходит накопление воздействия геодинамических зон, и их совокупность начинает оказывать значительное влияние на трубопровод. Известно, что фактическое положение трубопровода достаточно часто может значительно отличаться от проектного. Это, в свою очередь, формирует большое количество участков с непроектными радиусами изгиба трубопровода, что вызывает дополнительные напряжения в стенке трубы и создает потенциально опасные участки [1].

Изменение положения трубопровода происходит в геодинамических зонах и может проявляться в силу сейсмической активности, оползней, карстов, на границах тектонических разломов. Здесь происходит локальное изменение положения трубопровода, вызывая дополнительные напряжения от его изгиба, и общее напряженно-деформированное состояние ухудшается. Последнее может вызывать повреждение трубопровода, его разрушение и даже аварии.

В частности, можно отметить, что причиной самой масштабной аварии XX века в России в трубопроводном транспорте (продуктопровод в Республике Башкортостан, район н.п. Улу-Теляка), когда погибло 575 человек [2], является геодинамический фактор [3].

Таким образом, задачей данного исследования является определение того, насколько влияют локальные движения грунта на напряженно-деформированное состояние трубопровода.

Универсальной методики для исследования пересечений трубопроводами разломов не существует вследствие неопределенности параметров, управляющих поведением грунта, влияния нагрузок и т.п. Однако наиболее распространенными первичными движениями по разломам являются сдвиги, взбросы и сбросы, а также одновременное совместное воздействие этих движений [4]. Сдвиги горных пород будут подробнее рас-

смотрены в данной работе, общий вид сдвига представлен на рисунке 1.

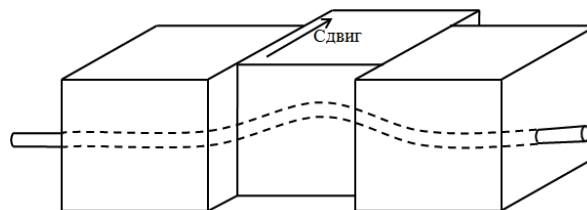


Рисунок 1. Сдвиг как наиболее распространенный режим движения по разломам

Одним из наиболее сложных инженерно-геологических условий является наличие тектонических разломов. Для трубопроводов, в особенности при подземной прокладке, наличие разломов является важным фактором, поскольку трубопроводы, пересекающие зоны разломов, могут подвергаться продольным деформациям и изгибам, что впоследствии может привести к образованию разрывов на поверхности трубы.

Значения периода повторяемости смещений при пересечении разломов составляют:

- 200 лет для смещений, интенсивность которых достигает предела прочности;
- 1000 лет для смещений, интенсивность которых достигает предела текучести [5].

Разломы, приводящие к разрывам поверхности, являются серьезным источником опасности для трубопроводов, поскольку трубопроводы, пересекающие зоны разломов, должны выдерживать продольные деформации и деформации изгиба, связанные со смещениями поверхности грунта.

С целью смягчения опасностей, связанных с пересечениями разломов, проводятся геологические исследования по выявлению активных (голоценовых) разломов, пересекающих трассу трубопровода, и определению типов и амплитуд разрывных дислокаций. Расчетные дислокации для таких событий затем используются при анализе нагрузок и деформаций [6].

Проектирование перехода через зону разлома основано на использовании способности сварных стальных трубопроводов к деформации в неупругой области с тем, чтобы они могли деформироваться в соответствии с движением грунта. По возможности трубопровод должен ориентироваться при пересечении зоны разлома так, чтобы он подвергался растягивающим напряжениям, поскольку предельные состояния по несущей способности при сжатии (местный изгиб или потеря продольной устойчивости) обычно наступают при напряжениях значительно меньших, чем уровни растягивающих напряжений, приводящих к разрыву. Если невозможно избежать сжимающих напряжений, то трубопровод должен ориентироваться так, чтобы свести к минимуму напряжение сжатия [7].

Длина переходной зоны представляет собой длину переходного участка между неподвижной и подвижной сторонами разлома [8]:

- для разломов со сдвиговыми движениями зона деформации грунта составляет примерно 2 м;
- для сбросов и взбросов основная зона поверхностных деформаций обычно составляет 5-15 м.

Из нормативной документации [9] известно, что пересечение трубопроводом зон активных тектонических разломов допускается под углом, близким 90° . При этом следует применять, как правило, надземный способ прокладки. Также возможно применение подземной прокладки. При этом необходимо соблюдать определенную (трапецеидальную) форму траншеи с пологими откосами (не менее 1:2), а также применять подсыпку и засыпку толщиной не менее 0,3 м крупнозернистым песком, торфом и т.д. Длина участка пересечения трубопроводом активного тектонического разлома принимается равной ширине разлома плюс 100 м в каждую сторону от границ разлома. На границах пересечений трубопроводом зон активных тектонических разломов возможно применение конструкций для повышения гибкости газопровода (устройство компенсаторов-упоров). Однако в нормативной документации отсутствует подробная информация о форме траншеи, объемах подсыпки и засыпки грунта и т.д.

В данной работе с помощью программного комплекса ANSYS моделируется участок трубопровода (сталь 17Г1С-У, диаметр трубопровода $d = 1220$ мм, толщина стенки трубы $t = 15$ мм, модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$, предел текучести $\sigma_m = 350$ МПа, предел прочности $\sigma_{ep} = 510$ МПа,) в грунте.

Грунт моделируется как упругая среда и состоит из трех частей, одной из которых (средней) придается горизонтальное смещение Δx , как на рисунке 1, а результат этого смещения проиллюстрирован на рисунке 4.

Общий вид модели представлен на рисунке 2. Для упрощения решения задачи модель грунта берется таких размеров, чтобы расстояния от трубопровода до внешних границ рассматриваемого грунта не превышали расстояния, равного пяти диаметрам трубопровода. Расстояние от трубопровода до поверхности грунта принимается равным 1,8 м, длина модели равна длине секции из трех труб - 36 м.

Расчет производится для трех типов грунтов: глины мягко-пластичной заторфованной, глины твердой и песка гравелистого [10], при расчете учитываются только нагрузки трубопровода от изгиба. Согласно результатам расчета, приведенным в таблице 1, с увеличением плотности и модуля упругости грунта, трубопровод способен выдержать все меньшие смещения от воздействия нагрузок. Так, трубопровод, проложенный в заторфованной глине, достигает максимальных напряжений, превышающих предел прочности материала трубы, при смещении грунта более чем на 60 см, в твердой глине - 28 см, в песке - 25 см. График зависимости максимальных напряжений в трубопроводе от величины перемещения грунтов различных типов представлен на рисунке 3. Распределение напряжений в трубопроводе и общая деформация грунта (на примере грунта - твердой глины при смещении грунта на 25 см) показаны на рисунках 4 и 5. Таким образом, в работе определена зависимость напряжений в трубопроводе от типа грунта и значения предельных смещений грунта, не вызывающих разрушающие напряжения в трубопроводе.

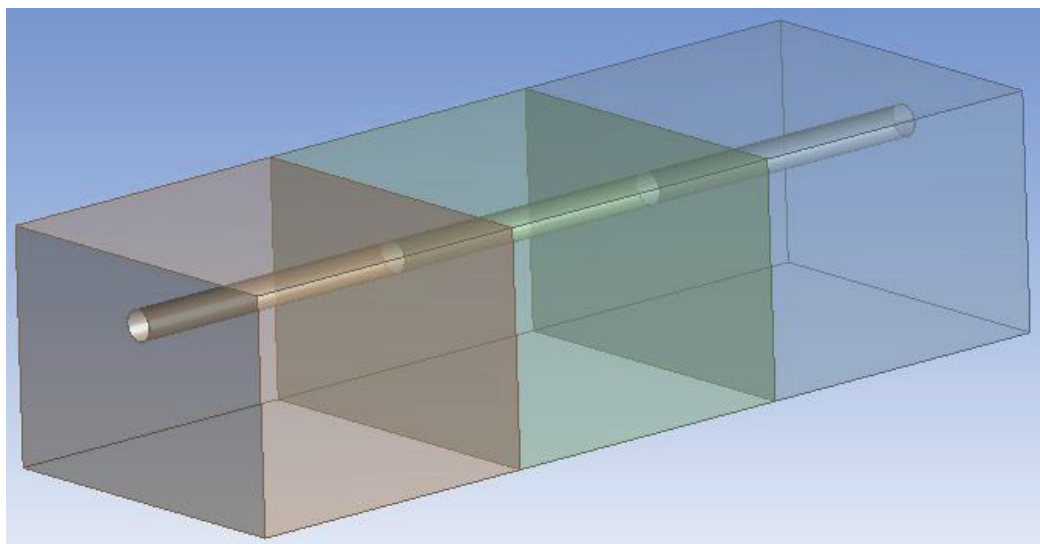


Рисунок 2. Общий вид модели

Таблица 1. Результаты расчета

Грунт	Плотность, кг/м ³	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Смещение грунта, м	Общая деформация, м	Максимальные напряжения в трубопроводе, МПа
Глина мягкопластичная за торфованная	1110	2,4	0,22	0,10	0,10	82,90
				0,20	0,21	165,90
				0,30	0,31	248,80
				0,40	0,41	331,80
				0,50	0,52	414,70
				0,60	0,62	497,70
Глина твердая	1840	15	0,42	0,10	0,11	173,62
				0,20	0,21	347,26
				0,25	0,26	434,08
				0,28	0,31	503,54
				0,30	0,32	520,90
Песок гравелистый	2000	50	0,3	0,10	0,10	196,78
				0,20	0,21	393,58
				0,25	0,26	491,97
				0,30	0,31	590,37

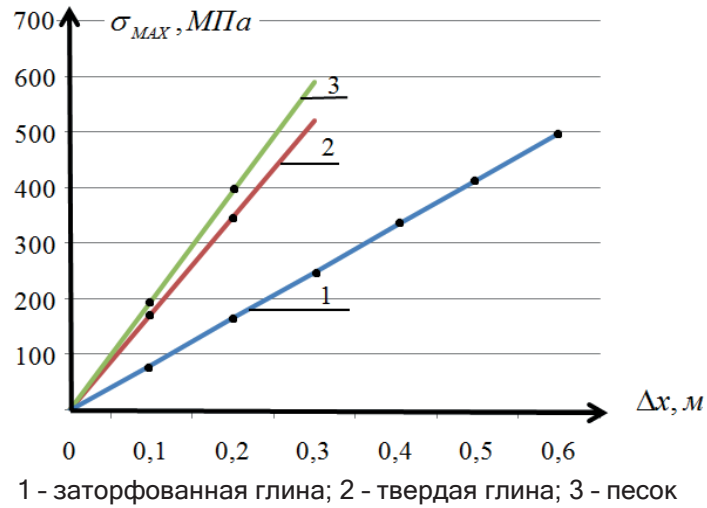


Рисунок 3. График зависимости максимальных напряжений в трубопроводе от величины перемещения различных грунтов

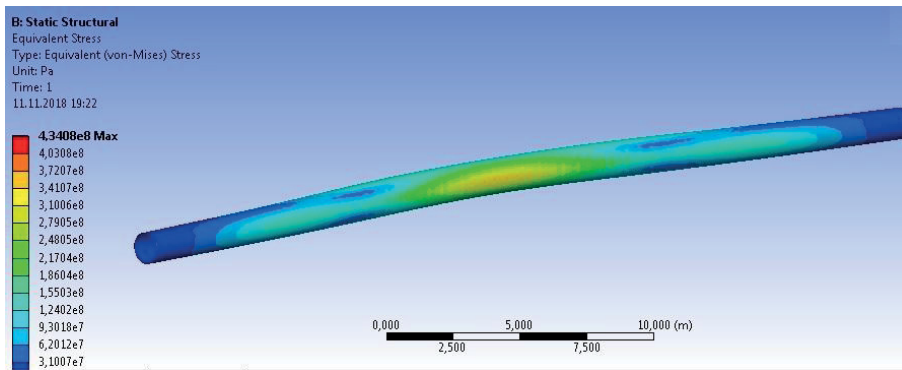


Рисунок 4. Распределение напряжений в трубопроводе (на примере грунта - глины при смещении грунта на 25 см)

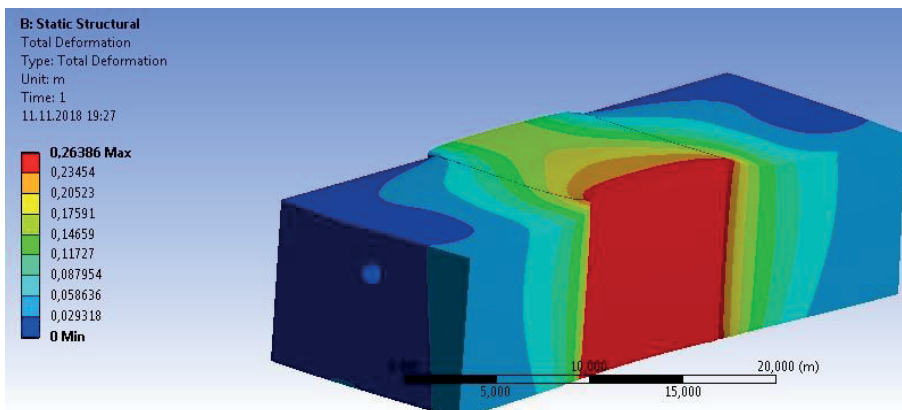


Рисунок 5. Общая деформация грунта (на примере грунта - глины при сдвиге грунта на 25 см)

Смоделируем трубопровод, проложенный в траншее прямоугольного сечения и засыпанный мягким грунтом (рисунок 6). В качестве грунта, окружающего траншею, примем глину твердую. Придавая горизонтальное смещение среднему кубу грунта, определим, как влияет на напряженное состояние трубопровода материал грунта засыпки. Так,

при засыпке глиной мягко-пластичной заторфованной трубопровод достигает максимальных напряжений, превышающих предел прочности трубы в 510 МПа, при сдвиге грунта на 36 см, при засыпке глиной твердой трубопровод может выдержать смещение на 28 см, а в случае гравелистого песка - на 26 см (таблица 2).

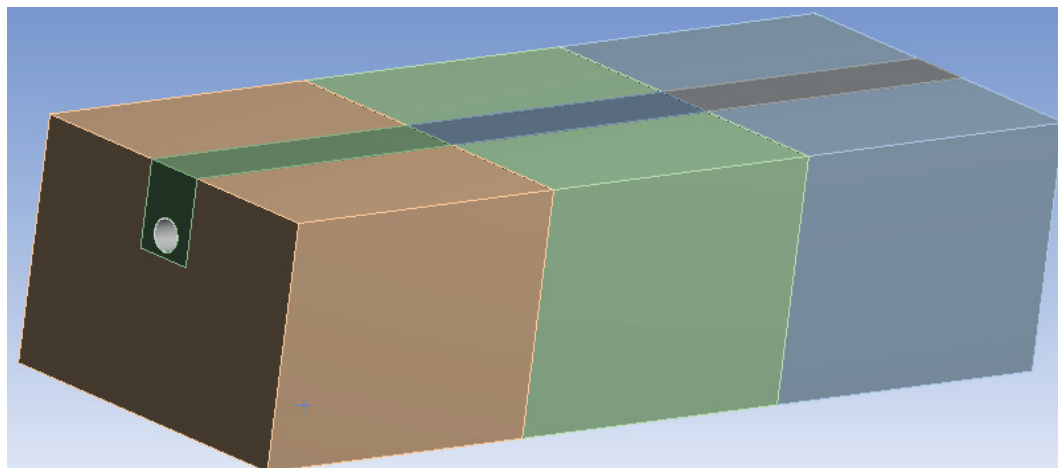


Рисунок 6. Модель трубопровода, проложенного в траншее прямоугольной формы

Таблица 2. Результаты расчета трубопровода, проложенного в траншее прямоугольной формы

Грунт засыпки	Коэффициент Пуассона	Модуль упругости, МПа	Плотность, кг/м ³	Смещение грунта, м	Максимальные напряжения в трубопроводе, МПа	Общая деформация, м
Глина мягко-пластичная заторфованная	0,22	2,4	1110	0,10	139,4	0,066
				0,20	278,9	0,132
				0,30	418,4	0,198
				0,36	502,1	0,238
Глина твердая	0,42	15,0	1840	0,10	172,7	0,071
				0,20	345,4	0,141
				0,28	500,9	0,205
Песок гравелистый	0,30	50,0	2000	0,10	172,6	0,071
				0,20	355,4	0,143
				0,26	497,5	0,200

Проанализируем аналогичную модель трубопровода в траншее трапецевидной формы (рисунок 7). Согласно результатам расчета, представленным в таблице 3, при засыпке глиной мягко-пластичной заторфованной трубопровод достигает максимальных напряжений, превышающих предел прочности трубы в 510 МПа, при сдвиге грунта на 40

см, при засыпке глиной твердой трубопровод может выдержать смещение на 28 см, а в случае гравелистого песка - на 27 см.

В таблице 4 сопоставлены данные о максимально возможных смещениях грунта, не вызывающих разрушение трубопровода, проложенного в траншеях прямоугольной и трапецевидной форм.

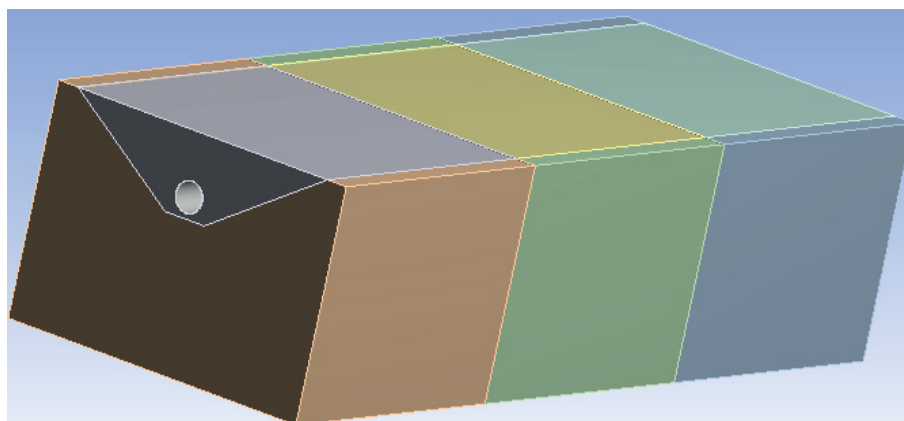


Рисунок 7. Модель трубопровода, проложенного в траншее трапецевидной формы

Таблица 3. Результаты расчета трубопровода, проложенного в траншее трапецевидной формы

Грунт засыпки	Коэффициент Пуассона	Модуль упругости, МПа	Плотность, кг/м ³	Смещение грунта, м	Максимальные напряжения в трубопроводе, МПа	Общая деформация, м
Глина мягко-пластичная заторфованная	0,22	2,4	1110	0,10	124,3	0,064
				0,20	248,7	0,128
				0,30	373,05	0,192
				0,40	497,4	0,256
Глина твердая	0,42	15	1840	0,10	177,4	0,071
				0,20	354,8	0,143
				0,28	496,7	0,200
Песок гравелистый	0,30	50	2000	0,10	167,8	0,070
				0,20	335,5	0,141
				0,27	503,3	0,211

Таблица 4. Максимально возможные смещения грунта, не вызывающие разрушение трубопровода, проложенного в траншеях прямоугольной и трапециевидной форм, м

Грунт засыпки	Форма траншеи	
	прямоугольная	трапециевидная
Глина мягко-пластичная заторфованная	0,36	0,40
Глина твердая	0,28	0,28
Песок гравелистый	0,26	0,27

Засыпку траншеи твердой глиной, а значит, тем же грунтом, что и окружает эту траншею, условно примем за эталон. По сравнению с ним засыпка более плотным грунтом приводит к снижению максимально возможного смещения грунта, а засыпка менее плотным грунтом - к увеличению предела сдвига грунта. Также мы видим, что в траншеях трапециевидной формы грунт можно сдвинуть на чуть большее расстояние, по сравнению с траншеями прямоугольной формы.

Таким образом, для улучшения напряженно-деформированного состояния трубопровода в зонах активных тектонических разломов необходимо применять засыпку траншеи несвязным грунтом и при этом использо-

вать грунт засыпки с меньшей плотностью и меньшим модулем деформации, а также в качестве формы траншеи выбирать трапециевидную.

Вывод

На основе проведенных расчетов можно заключить, что локальное смещение грунта может вызывать значительное ухудшение напряженно-деформированного состояния трубопровода. Следовательно, необходимо проведение мероприятий, предупреждающих неконтролируемое повышение напряжения в металле: применение иных методов укладки трубопровода, применение трубопроводных компенсаторов напряжений, своевременный ремонт и реконструкция трубопровода.

Список литературы

1. Мастобаев Б.Н., Аскарров Р.М., Китаев С.В., Каримов Р.М., Валеев А.Р., Хакимов Т.А., Исламов И.М. Напряженно-деформированное состояние газопровода на пересечениях с геодинамическими зонами по данным неоднократной внутритрубной дефектоскопии // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2017. № 6. С. 50-57.
2. Савина А.В. Определение минимальных безопасных расстояний от магистральных трубопроводов до населенных пунктов, зданий и сооружений. Газотранспортные системы: настоя-

References

1. Mastobaev B.N., Askarov R.M., Kitaev S.V., Karimov R.M., Valeev A.R., Khakimov T.A., Islamov I.M. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie gazoprovoda na peresecheniyakh s geodinamicheskimi zonami po dannym neodnokratnoi vnutritrubnoi defektoskopii [Stress-Strain State of a Gas Pipeline at Intersections With Geodynamic Zones According to Repeated In-line Inspection]. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodородного syr'ya - Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbons*, 2017, No. 6. pp. 50-57. [in Russian].

щее и будущее // GTS - 2011: Сб. докладов IV Международ. науч.-технич. конф. и выставки. М.: Газпром ВНИИГАЗ. С. 320-324.

3. Давлетов М.И. Исходные параметры для расшифровки геологических факторов аварий трубопроводов на территории Башкортостана // Энергоэффективность. Проблемы и решения: V Российский энергетический форум. Уфа, 2005. С. 232-237.

4. Фигаров Э.Н. Разработка методики оценки напряженно-деформированного состояния трубопровода в зонах активных тектонических разломов с целью обеспечения его безопасной эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2014. 127 с.

5. Андреева Е.В. Разработка методики оценки несущей способности подземных магистральных трубопроводов в сейсмически опасных зонах: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2009. 138 с.

6. Автахов З.Ф., Пионт П.Ю., Трушин Р.С., Галкин В.А. Безопасность магистральных трубопроводов на участках перехода тектонических разломов // Трубопроводный транспорт (теория и практика). 2007. № 3 (9). С. 108-112.

7. Суцев Т.С. Повышение безопасности магистральных нефтепроводов на участках пересечения с АТР: дисс. ... канд. мат. наук. Уфа: УГНТУ, 2010. 114 с.

8. Андреева Е.В. Расчетные модели подземного трубопровода при воздействии поперечных сейсмических воздействий. М.: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2007. С. 49-54.

9. СТО Газпром 2-2.1-249-2008. Магистральные газопроводы. М.: ОАО «Газпром», 2008. 239 с.

10. Айнбиндер А.Б., Камерштейн А.Г. Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивость: справочное пособие. М.: Недра, 1982. 341 с.

2. Savina A.V. Opredelenie minimal'nykh bezopasnykh rasstoyanii ot magistral'nykh truboprovodov do naselennykh punktov, zdaniy i sooruzhenii. Gazotransportnye sistemy: nastoyashchee i budushchee [Determination of the Minimum Safe Distances from Main Pipelines to Settlements, Buildings and Structures. Gas Transportation Systems: Present and Future]. *Sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii i vystavki GTS - 2011* [Collection of Reports of the IV International Scientific and Technical Conference and Exhibition GTS - 2011]. Moscow, Gazprom VNIIGAZ. pp. 320-324. [in Russian].

3. Davletov M.I. Iskhodnye parametry dlya rasshifrovki geologicheskikh faktorov avarii truboprovodov na territorii Bashkortostana [Initial Parameters for the Interpretation of Geological Factors of Pipeline Accidents in the Territory of Bashkortostan]. *V Rossiiskii energeticheskii forum «Energoeffektivnost'. Problemy i resheniya»* [V Russian Energy Forum «Energy efficiency. Problems and Solutions»]. Ufa, 2005. pp. 232-237. [in Russian].

4. Figarov E.N. *Razrabotka metodiki otsenki napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovoda v zonakh aktivnykh tektonicheskikh razlomov s tsel'yu obespecheniya ego bezopasnoi ekspluatatsii: diss. kand. tekhn. nauk.* [Development of Methods for Assessing the Stress-Strain State of the Pipeline in Areas of Active Tectonic Faults in Order to Ensure its Safe Operation: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, 2014. 127 p. [in Russian].

5. Andreeva E.V. *Razrabotka metodiki otsenki nesushchei sposobnosti podzemnykh magistral'nykh truboprovodov v seismicheski opasnykh zonakh: diss. kand. tekhn. nauk.* [Development of Methods for Assessing the Carrying Capacity of Underground Pipelines in Seismically Hazardous Areas: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, 2009. 138 p. [in Russian].

6. Avtakhov Z.F., Piont P.Yu., Trushin R.S., Galkin V.A. Bezopasnost' magistral'nykh truboprovodov na uchastkakh perekhoda tektonicheskikh razlomov [Safety of Trunk Pipelines at Tectonic Faults]. *Truboprovodnyi transport (teoriya i praktika) - Pipeline Transportation (Theory and Practice)*, 2007, No. 3 (9), pp. 108-112. [in Russian].

7. Sushchev T.S. *Povyshenie bezopasnosti magistral'nykh nefteprovodov na uchastkakh peresecheniya s ATR: diss. kand. mat. nauk.* [Improving the safety of main oil pipelines at the crossroads with the APR: Cand. Math. Sci. Diss.]. Ufa, USPTU Publ., 2010. 114 p. [in Russian].

8. Andreeva E.V. *Raschetnye modeli podzemnogo truboprovoda pri vozdeistvii poperechnykh seismicheskikh vozdeistvii* [Calculation Models of the Underground Pipeline under the Influence of Transverse Seismic Effects]. Moscow, Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2007. pp. 49-54. [in Russian].

9. СТО Газпром 2-2.1-249-2008. *Magistral'nye gazoprovody* [STO Gazprom 2-2.1-249-2008. Trunk Gas Pipelines]. Moscow, ОАО «Газпром» Publ., 2008. 239 p. [in Russian].

10. Ainbinder A.B., Kamershtein A.G. *Raschet magistral'nykh truboprovodov na prochnost' i ustoychivost': spravochnoe posobie* [The Calculation of Pipelines for Strength and Stability: a Reference Guide]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 341 p. [in Russian].

Авторы

• Ялалов Денис Венерович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Ассистент кафедры «Транспорт и хранение
нефти и газа»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: yalalov1993@yandex.ru

• Валеев Анвар Рашитович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Транспорт и хранение нефти
и газа»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: anv-v@yandex.ru

• Аскарров Роберт Марагимович, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Транспорт и хранение нефти
и газа»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: askarov1943@mail.ru

• Хакимов Тимур Артурович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Транспорт и хранение нефти
и газа»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: info@orgneftegaz.ru

The Authors

• Yalalov Denis V.
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant of Oil and Gas Transport and Storage
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: yalalov1993@yandex.ru

• Valeev Anvar R., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas Transportation
and storage Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: anv-v@yandex.ru

• Askarov Robert M., Doctor of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas transportation
and storage Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: askarov1943@mail.ru

• Khakimov Timur A., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas transportation
and storage Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: info@orgneftegaz.ru