DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-2-39-49

УДК 622.692.4.053

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

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

Denis V. Yalalov, Anvar R. Valeev, Robert M. Askarov, Yurii D. Perezhogin
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE UNDERGROUND PIPELINE DURING ROCK SHIFTING IN THE AREAS OF ACTIVE TECTONIC FAULTS

Введение

В активных геодинамических зонах может происходить изменение положения трубопровода в силу сейсмической активности, оползней и карстов, а также движений по разломам, таких как сдвиги, взбросы и сбросы, а также при одновременном совместном воздействии 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.

Цели и задачи

В данной работе проводится экспериментальное исследование деформации трубопровода совместно с грунтом для анализа напряженно-деформированного состояния трубопровода и сравнения с результатами компьютерного моделирования.

Background

In active geodynamic zones can be a change of position of the pipeline in the strength of seismic activity, landslides and clusters, and movements along faults, such as faults, reverse faults and vents, as well as the simultaneous combined effect of these movements.

A local change of the position of the pipe taking place under these influences, causes additional stress from bending, and the general stress-strain condition worsens, which can lead to the destruction of pipelines and accidents.

Aims and Objectives

In this work, a pilot study of the deformation of the pipeline together with the ground for the analysis of stress-strain state of the pipeline and compare with the results of computer simulation.

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

Методы исследования

Экспериментальная установка представляет собой ящик из OSB-панелей, который заполняется грунтом. В грунт укладывается полипропиленовая труба, на которую прикреплены тензодатчики, передающие замеры деформации на компьютер. На дне ящика и в боковой его стенке имеются отверстия под бруски, соединенные с досками. Эти доски с помощью домкрата поочередно приводят грунт в вертикальное и горизонтальное движения.

Результаты

По результатам эксперимента получены зависимости напряжений, возникающих в экспериментальной полипропиленовой трубе, от перемещений грунта. С помощью теории подобия произведен пересчет данных напряжений, получены графики зависимостей напряжений, возникающих в стальной трубе, аналогичной по параметрам той, которая использовалась в компьютерном моделировании, от перемещений грунта. Сравнение результатов эксперимента и компьютерного моделирования, произведенного ранее в программе ANSYS, выявило небольшое расхождение результатов, что объясняется неточностью подбора моделей поведения грунта. В дальнейшем планируется уточнение математических моделей.

The objective of this study is to determine how much local soil movements affect the stress-strain state of the pipeline.

Methods

The experimental setup is a box made of OSB panels, which is filled with soil. The soil is placed in a polypropylene tube, to which is attached the load cells transmit measurements of deformation on the computer. At the bottom of the box and its lateral wall has the holes for the bars connected to the boards. These boards with the Jack alternately bring the soil in the vertical and horizontal movement.

Results

According to the results of the experiment, the dependences of the stresses arising in the experimental polypropylene pipe on the displacements of the soil were obtained. Using the similarity theory, these stresses were recalculated, and graphs of the dependences of stresses arising in a steel pipe, similar in parameters to that used in computer simulation, on soil displacements, were obtained. Comparison of the results of the experiment and computer simulations made earlier in the ANSYS program revealed a slight discrepancy between the results, which is explained by the inaccuracy in the selection of models for soil management. Further refinement of mathematical models is planned.

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

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

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 изме-

нение 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 [1-8].

Постановка задачи

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

Локальное движение грунта рассматривается на примере сдвига горных пород в зоне активных тектонических разломов.

В работе [9] с помощью программного комплекса ANSYS моделируется участок трубопровода длиной 36 м, диаметром D 1220 мм в грунте. Грунт моделируется как упругая среда и состоит из трех частей, одной из которых (средней) придается горизонтальное смещение Δx . В данной работе, которая является продолжением вышеупомянутой работы, проводится экспериментальное исследование деформации трубопровода совместно с грунтом для анализа напряженно-деформированного состояния трубопровода и сравнения с результатами компьютерного моделирования.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента

Для проведения эксперимента был собран ящик из OSB-панелей с размерами 80 x 80 x 60 см³, который установили на деревянные опоры на высоту 30 см от уровня земли для возможности работы с домкратом (рисунок 1). В центре дна ящика имеется отверстие под брус, соединенный с доской, лежащей на дне ящика. Еще одна доска с бруском установлена в боковой стенке ящика. Ящик заполняется грунтом на высоту в 30 см.

После уплотнения грунта в нем выкапывается траншея под трубопровод глубиной 15 см перпендикулярно доске, расположенной на дне ящика (рисунок 2).

Рисунок 1. Внешний вид экспериментальной установки

Рисунок 2. Укладка трубы в траншею

После укладки трубопровода траншея закапывается, грунт вновь уплотняется. С помощью домкрата брус с горизонтальной доской приводится в вертикальное движение вместе грунтом, расположенным над доской (рисунок 3).

В трубопроводе, представленном полипропиленовой трубой длиной 70 см, диаметром 20 мм и толщиной стенки 2 мм, возникают изгибные напряжения.

- 1 - ящик из OSB-панелей;
2 - полипропиленовая труба;
3 - горизонтальная и вертикальная доски;
4 - бруски; 5 - грунт; 6 - домкрат

Рисунок 3. Схема экспериментальной установки

Деформация материала трубы фиксируется фольговыми тензометрическими датчиками, наклеенными с помощью эпоксидного клея на трубу в четырех местах:

два - в середине трубы;

два - на расстоянии 10 см от середины.

Один из каждой пары датчиков расположен в верхней части трубы и фиксирует растягивающие напряжения материала трубы (рисунок 4).

Второй из каждой пары датчиков расположен в нижней части и фиксирует сжимающие напряжения (рисунок 4) [10].

Сигнал от тензодатчиков по электрическому кабелю передается через плату Arduino на персональный компьютер, где он регистрируется и обрабатывается (рисунок 5).

Рисунок 4. Схема расположения тензодатчиков на трубе

Рисунок 5. Передача сигнала на компьютер

*Сравнение экспериментальных данных
и результатов математического
моделирования*

Для калибровки тензодатчиков к центру трубы, концы которой установили на опоры, была приложена нагрузка в 1 кг [11]. Прогиб трубы в 2 см соответствует радиусу изгиба в 3,07 м. Продольные напряжения полипропиленовой трубы от ее изгиба при калибровке составили

$$\sigma = \pm \frac{E \cdot D_H}{2 \cdot R_H}, \quad (1)$$

где E - модуль упругости материала полипропиленовой трубы, Па;

D_H - внешний диаметр полипропиленовой трубы, м;

R_H - радиус изгиба полипропиленовой трубы, м.

При данном изгибе зафиксированы показания тензодатчиков и вычислены масштабные коэффициенты измерений, произведен эксперимент с вертикальным смещением грунта. Откалиброванные показания тензодатчиков в ходе первого эксперимента

представлены в таблице 1. Из таблицы 1 следует, что максимальные напряжения возникают в среднем сечении трубы, и при засыпке ящика глиной напряжения в трубе больше, чем при засыпке песком.

Поскольку высота засыпки трубопровода в эксперименте невелика, а также ввиду обтекания грунтом трубопровода при сдвиге прирост напряжений в трубе уменьшается с увеличением сдвига, и при сдвиге более 6 см величина напряжений практически не изменяется (на рисунке 6 нумерация кривых зависимостей соответствует порядковому номеру столбца в таблице 1).

Проведем второй эксперимент по горизонтальному сдвигу грунта. Для этого будем перемещать вертикально расположенную доску, соединенную с брусом, с помощью домкрата, уперев его в неподвижную стену. Результаты второго эксперимента представлены в таблице 2.

Напряжения в среднем сечении полипропиленовой трубы в датчике, расположенном сверху (второй столбец таблицы 2), при сдвиге грунта являются максимальными за время проведения эксперимента, поэтому для сравнения с результатами компьютерного моделирования будем пользоваться этими напряжениями как наиболее опасными.

Таблица 1. Экспериментальные данные напряжений в полипропиленовом трубопроводе при вертикальном смещении грунта

Сдвиг, см	Напряжения, МПа							
	Глина				Песок			
	Датчики в середине трубы		Датчики в стороне от середины трубы		Датчики в середине трубы		Датчики в стороне от середины трубы	
	Датчик сверху	Датчик снизу	Датчик сверху	Датчик снизу	Датчик сверху	Датчик снизу	Датчик сверху	Датчик снизу
1	1,75	1,64	1,48	1,40	1,24	1,54	1,14	1,08
2	3,22	2,77	2,11	1,94	1,90	2,47	1,70	1,64
3	4,52	3,55	2,46	2,31	2,52	3,08	2,15	2,00
4	5,71	3,98	2,68	2,52	2,89	3,54	2,50	2,30
5	6,52	4,29	2,84	2,62	3,11	3,81	2,77	2,46
6	6,77	4,45	2,89	2,71	3,33	3,99	2,94	2,60

Рисунок 6. Экспериментальные зависимости напряжений в трубе от величины сдвига грунта

Таблица 2. Экспериментальные данные напряжений в полипропиленовом трубопроводе при горизонтальном смещении грунта

Сдвиг, см	Напряжения, МПа							
	Глина				Песок			
	Датчики в середине трубы		Датчики в стороне от середины трубы		Датчики в середине трубы		Датчики в стороне от середины трубы	
	Датчик сверху	Датчик снизу	Датчик сверху	Датчик снизу	Датчик сверху	Датчик снизу	Датчик сверху	Датчик снизу
1	1,75	1,64	1,48	1,4	1,24	1,54	1,14	1,08
2	3,5	3,28	2,96	2,8	2,48	3,08	2,28	2,16
3	5,25	4,92	4,44	4,2	3,72	4,62	3,42	3,24
4	7	6,56	5,92	5,6	4,96	6,16	4,56	4,32
5	8,75	8,2	7,4	7	6,2	7,7	5,7	5,4
6	10,5	9,84	8,88	8,4	7,44	9,24	6,84	6,48

Для перевода напряжений, возникающих в полипропиленовой трубе σ_1 , в напряжения в стальном трубопроводе σ_2 воспользуемся теорией подобия.

Согласно формуле (1) изгибные напряжения зависят от трех величин: введем три коэффициента подобия k_1, k_2, k_3 .

$$k_1 = \frac{E_1}{E_2} = \frac{200 \cdot 10^9}{1,2 \cdot 10^9} = 166,6,$$

$$k_2 = \frac{D_{H1}}{D_{H2}} = \frac{1,22}{0,2} = 61,$$

$$k_3 = \frac{R_{и1}}{R_{и2}} = \frac{1800}{3,07} = 586,32,$$

где $E_2, D_{H2}, R_{и2}$ - модуль упругости, внешний диаметр, радиус изгиба стальной трубы.

Для определения воспользуемся условиями, заданными в работе [9]: ширина зоны сдвига грунта $b = 12$ м.

Определим при прогибе трубы (сдвиге грунта) $h = 1$ см (рисунок 7).

По свойству пересекающихся хорд

$$2R_{и2} - h = \frac{0,5b \cdot 0,5b}{h},$$

откуда

$$R_{и2} = \frac{0,25b^2}{2h} + \frac{h}{2} = \frac{0,25 \cdot 12^2}{2 \cdot 0,01} + \frac{0,01}{2} = 1800 \text{ м.}$$

Продольные напряжения от изгиба в стальном трубопроводе при горизонтальном сдвиге грунта на 1 см согласно теории подобия

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 \cdot k_1 \cdot k_2}{k_3} = \frac{1,75 \cdot 166,6 \cdot 61}{586,32} = 30,33 \text{ МПа.}$$

Построим экспериментальную зависимость напряжений в стальном трубопроводе при сдвиге грунта и сравним её с компьютерной (рисунок 8).

Согласно эксперименту стальной трубопровод, проложенный в глине, достигнет максимально допустимых напряжений, превышающих предел прочности $\sigma_{\text{пр}} = 510 \text{ МПа}$, при сдвиге грунта на 17 см, в то время, как компьютерное моделирование дало результат - 28 см.

Рисунок 7. Схема для определения радиуса изгиба стального трубопровода

1 - экспериментальная зависимость;
2 - зависимость, полученная при компьютерном моделировании

Рисунок 8. Сравнение зависимостей максимальных напряжений в трубопроводе от величины горизонтального сдвига грунта (глины)

Расхождения в результатах вызваны небольшим расхождением в моделях поведения грунта, в дальнейшем данные модели планируются доработать.

Выводы

По результатам эксперимента получены зависимости напряжений, возникающих в экспериментальной полипропиленовой трубе, от перемещений грунта. С помощью теории подобия произведен пересчет данных напряжений, получены графики зависимостей

напряжений, возникающих в стальной трубе, аналогичной по параметрам той, которая использовалась в компьютерном моделировании, от перемещений грунта.

Сравнение результатов эксперимента и компьютерного моделирования, произведенного ранее с помощью программы ANSYS, выявило небольшое расхождение результатов, что объясняется неточностью подбора моделей поведения грунта. В дальнейшем планируется уточнение математических моделей.

Список литературы

1. Мастобаев Б.Н., Аскаров 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: настоящее и будущее (GTS-2011): сб. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. и выставки: В 2 Кн. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. Кн. 1. С. 320-324.
3. Давлетов М.И. Исходные параметры для расшифровки геологических факторов аварий трубопроводов на территории Башкортостана // Энергоэффективность. Проблемы и решения: матер. V Российск. энергетич. форума. 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: дис. ... канд. техн. наук. М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2014. 127 с.
5. Андреева Е.В. Разработка методики оценки несущей способности подземных магистральных трубопроводов в сейсмически опасных зонах: дис. ... канд. техн. наук. М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 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 активными тектоническими разломами: дис. ... канд. техн. наук. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2010. 114 с.
8. Андреева Е.В. Расчетные модели подземного трубопровода при воздействии поперечных сейсмических воздействий // Магистральные и промысловые трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт: сб. науч. тр. М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2007. № 2. С. 49-54.
9. 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.

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 vnuritrubnoi defektoskopii [Stressed-Strain State of the Gas Pipeline, at the Cross-Sections with Geodynamic Zones, by the Data of Inhomogeneous Intra-Tube Defectoscopy] *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodородного syr'ya - Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*, 2017, No. 6, pp. 50-57. [in Russian].
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 Minimum Safe Distances from Trunk Pipelines to Settlements, Buildings and Structures. Gas Transmission Systems: Present and Future]. *Sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii i vystavki «Gazotransportnye sistemy: nastoyashchee i budushchee» (GTS-2011): V 2 Kn.* [Collection of Reports of the IV International Scientific and Technical Conference and Exhibition «Gas Transportation Systems: Present and Future» (GTS-2011): In 2 Books]. Moscow, Gazprom VNIIGAZ Publ., 2011, Book 1, pp. 320-324. [in Russian].
3. Davletov M.I. Iskhodnye parametry dlya rasshifrovki geologicheskikh faktorov avarii truboprovodov na territorii Bashkortostana [Initial Parameters for Decoding the Geological Factors of Pipeline Accidents in the Territory of Bashkortostan]. *Materialy V Rossiiskogo energeticheskogo foruma «Energoeffektivnost'. Problemy i resheniya»* [Materials of the V Russian Energy Forum «Energy Efficiency. Problems and Solutions»]. Ufa, IPTE Publ., 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: dis. kand. tekhn. nauk* [Development of a Methodology for Assessing the Stress-Strain State of a Pipeline in Zones of Active Tectonic Faults in Order to Ensure its Safe Operation: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, RGU nefiti i gaza (NIU) im. I.M. Gubkina Publ., 2014. 127 p. [in Russian].
5. Andreeva E.V. *Razrabotka metodiki otsenki nesushchei sposobnosti podzemnykh magistral'nykh truboprovodov v seismicheski opasnykh zonakh: dis. kand. tekhn. nauk* [Development of a Methodology for Assessing the Bearing Capacity of Underground Pipelines in Seismically Hazardous Areas: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, RGU nefiti i gaza (NIU) im. I.M. Gubkina Publ., 2009. 138 p. [in Russian].
6. Avtakhov Z.F., Piont P.Yu., Trushin R.S., Gal-

10. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций. Самара: Изд-во СГАУ, 2011. 54 с.

11. Саченков А.А., Бережной Д.В., Саченков О.А. Экспериментальные методы исследования напряжений. Казань: КФУ, 2017. 43 с.

kin V.A. Bezopasnost' magistral'nykh truboprovodov na uchastkakh perekhoda tektonicheskikh razlomov [Safety of Trunk Pipelines in the Areas of Transition of Tectonic Faults]. *Truboprovodnyi transport: teoriya i praktika - Pipeline Transport: 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 aktivnymi tektonicheskimi razlomami: dis. kand. tekhn. nauk* [Improving the Safety of Oil Trunk Pipelines at Intersections with Active Tectonic Faults: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, UGNTU Publ., 2010. 114 p. [in Russian].

8. Andreeva E.V. Raschetnye modeli podzemnogo truboprovoda pri vozdeistvii poperechnykh seismicheskikh vozdeistvii [Calculation Models of an Underground Pipeline under Transverse Seismic Effects]. *Sbornik nauchnykh trudov «Magistral'nye i promyslovye truboprovody: proektirovanie, stroitel'stvo, ekspluatatsiya, remont»* [Collection of Scientific Papers «Main and Field Pipelines: Design, Construction, Operation, Repair»]. Moscow, RGU nefti i gaza (NIU) im. I.M. Gubkina Publ., 2007, No. 2, pp. 49-54. [in Russian].

9. 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].

10. Mekheda V.A. *Tenzometricheskii metod izmereniya deformatsii* [Strain Method]. Samara, SGAU Publ., 2011, 54 p. [in Russian].

11. Sachenkov A.A., Berezhnoi D.V., Sachenkov O.A. *Ekspperimental'nye metody issledovaniya napryazhenii* [Experimental Stress Research Methods]. Kazan, KFU Publ., 2017. 43 p. [in Russian].

Авторы

• Ялалов Денис Венерович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Ассистент кафедры «Транспорт и хранение
нефти и газа»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: yalalov1993@yandex.ru

• Валеев Анвар Рашитович, канд. техн. наук,
доцент
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Транспорт и хранение
нефти и газа»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: anv-v@yandex.ru

• Аскаров Роберт Марагимович, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Транспорт и хранение
нефти и газа»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: askarov1943@mail.ru

• Пережогин Юрий Дмитриевич, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Транспорт и хранение
нефти и газа»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: thng@mail.ru

The Authors

• Yalalov Denis V.
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant of Oil and Gas Transportation and Storage
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: yalalov1993@yandex.ru

• Valeev Anvar R., Candidate of Engineering
Sciences, Associate Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas Transportation
and Storage Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
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, 450064,
Russian Federation
e-mail: askarov1943@mail.ru

• Perezhogin Yurii D., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas Transportation
and Storage Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: thng@mail.ru