DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-3-29-38

УДК 622.692.4

Ф.М. Мугаллимов (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация), **И.Ф. Мугаллимов, А.Ф. Мугаллимов** (ООО «Научно-техническая фирма «ВОСТОКнефтегаз»», г. Уфа, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМОВ ДВИЖЕНИЯ ОЧИСТНЫХ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ В ТРУБОПРОВОДАХ

Fanzil M. Mugallimov (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation), **Ildar F. Mugallimov, Azat F. Mugallimov** (Research and Technical Firm «VOSTOKneftegaz» LLC, Ufa, Russian Federation)

RESEARCH OF AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF CLEANING AND DIAGNOSTIC DEVICES MOTION NOISES IN PIPELINES

Введение

Основным критерием безопасной эксплуатации трубопроводов при очистке и внутритрубной диагностике является безостановочное движение устройства (снаряда) от камеры запуска до камеры приема. Остановка или застревание снаряда на участке между камерами пуска и приема является нештатной ситуацией, поэтому при пропуске снарядов по трубопроводу необходимо постоянно контролировать их движение и периодически регистрировать время прохождения снаряда в пунктах контроля с момента его запуска до прихода к конечному участку, т.е. сопровождать по всему участку трубопровода. При движении снарядов любой конструкции в трубопроводе происходит трение манжет и/или дисков снаряда о внутреннюю стенку, при котором генерируются акустические волны. Эти волны распространяются как по стенке трубопровода, так и по перекачиваемой жидкости в обоих направлениях.

Background

The main criterion for the safe operation of pipelines during cleaning and in-line diagnostics is the non-stop movement of the device (projectile) from the launch chamber to the reception chamber. Stopping or jamming a projectile in the area between the launch and reception cameras is an emergency. Therefore, when passing shells through the pipeline, it is necessary to constantly monitor their movement and periodically record the passage time of the shell at the control points from the moment it is launched until it arrives at the final site, i.e. accompany throughout the pipeline. When projectiles of any design move in the pipeline, the cuffs and / or disks of the projectile rub against the inner wall, at which acoustic waves are generated. These waves propagate both along the wall of the pipeline, and along the pumped liquid in both directions.

Акустический метод контроля движения снарядов в трубопроводе является одним из эффективных способов и может обеспечить наибольшую дальность обнаружения снаряда.

Цели и задачи

Исследование амплитудно-частотных характеристик шумов движения очистных и диагностических устройств (снарядов) в трубопроводах с целью разработки технического устройства контроля их движения и регистрации времени прохождения в пунктах контроля.

Результаты

Наибольшая амплитуда шума движения внутритрубного снаряда наблюдается в диапазоне частот от 20-40 до 4000-5000 Гц, а частота меняется в пределах от 5-10 до 8000-10000 Гц. Амплитуда шума в значительной степени зависит от расстояния между движущимся снарядом и местом установки акустического датчика. При прохождении снаряда через поперечные сварные швы трубопровода происходит кратковременный всплеск амплитуды шума движения снаряда. Амплитуда шума находится в обратной зависимости от толщины парафинowego слоя в нефтепроводе, и величина изменения шума в зависимости от толщины парафина при этом незначительна. Влияние материала манжет/дисков снаряда на амплитуду акустического сигнала также незначительно.

The acoustic method for controlling the movement of shells in the pipeline is one of the effective ways to control the movement and can provide the greatest detection range of the projectile.

Aims and Objectives

Investigation of the amplitude-frequency characteristics of the noise of the cleaning and diagnostic devices (shells) in pipelines with the aim of developing a technical device for monitoring their movement and recording travel time at control points.

Results

The largest amplitude of the noise of movement of the in-tube projectile is observed in the frequency range from 20-40 to 4000-5000 Hz, and the frequency varies from 5-10 to 8000-10000 Hz. The amplitude of the noise largely depends on the distance between the moving projectile and the installation location of the acoustic sensor. When the projectile passes through the transverse welds of the pipeline, a short-term surge in the amplitude of the noise of the projectile movement occurs. The noise amplitude is inversely related to the thickness of the paraffin layer in the oil pipeline and the magnitude of its change from the thickness of the paraffin is insignificant. The influence of the material of the cuffs/disks of the projectile on the amplitude of the acoustic signal is also insignificant.

Ключевые слова: нефтепровод; внутритрубный снаряд; акустический метод контроля; амплитудно-частотная характеристика шумов; оптимальный диапазон частот; устройство сопровождения; акустический локатор

Key words: pipeline; in-tube projectile; acoustic control method; amplitude-frequency characteristic of noise; optimal frequency range; tracking device; acoustic locator

Основным критерием безопасной эксплуатации трубопроводов при очистке и внутритрубной диагностике является безостановочное движение устройства (снаряда) от камеры запуска до камеры приема. Остановка или застревание снаряда на участке между камерами пуска и приема является нештат-

ной ситуацией, поэтому при пропуске снарядов по трубопроводу необходимо постоянно контролировать их движение и периодически регистрировать время прохождения снаряда в пунктах контроля с момента его запуска до прихода к конечному участку, т.е. сопровождать по всему участку трубопровода.

При движении снарядов любой конструкции в трубопроводе происходит трение манжет и/или дисков снаряда о внутреннюю стенку, при котором генерируются акустические волны. Генерируемые волны распространяются как по стенке трубопровода, так и по перекачиваемой жидкости в обоих направлениях.

Акустический метод контроля движения снарядов в трубопроводе является одним из эффективных способов контроля движения, если рассматривать трубопровод как звукопровод, и может обеспечить наибольшую дальность обнаружения снаряда, что дает возможность своевременно реагировать на нештатную ситуацию для минимизации ущерба [1-3].

Ранее на действующих магистральных нефтепроводах «Туймазы - Омск - Новосибирск 2», «Усть-Балык - Курган - Уфа - Альметьевск» и на нефтепроводе «Чернушка - Оса» были исследованы частотные диапазоны и амплитуды акустических шумов при движении манжетно-дискового очистного устройства [1]. Проведенные исследования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и опыт контроля движения снарядов показывают, что акустические шумы в звуковом диапазоне частот значительны по амплитуде при прохождении снарядом поперечных сварных швов трубопровода.

Как показали исследования, факторами, влияющими на частоту и амплитуду шумов движения снаряда, являются:

- расстояние между движущимся снарядом и местом установки акустического датчика, с помощью которого были произведены измерения;
- материал манжет и/или дисков, его технические характеристики и степень износа, конструктивные особенности снаряда;
- степень парафинизации внутренней стенки нефтепровода;
- поперечные сварные швы и подкладные кольца в нефтепроводе;
- дискретность скорости движения снаряда;

- перекачиваемый продукт (газ, нефть, нефтепродукты или мультифазный продукт);
- тип и состояние грунта, в который уложен трубопровод, а также тип внешнего изоляционного покрытия (при прослушивании движения снаряда с грунта) и другие параметры.

Критерий выбора рабочих частот шума определялся несколькими факторами: дальностью обнаружения сигнала, величиной затухания сигнала, свойствами снаряда генерировать шумы при движении в трубопроводе и другими.

Как указывалось ранее, основным требованием при акустическом контроле за движущимся объектом в трубопроводе является дальность обнаружения движущегося снаряда. Из теории распространения звуковых волн известно, что затухание сигнала пропорционально квадрату звуковой частоты [2]:

$$\alpha_c = \frac{\omega^2}{2\rho_c c_{ак}^3} \left[\frac{4}{3} \mu_c + \zeta + \chi \left(\frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p} \right) \right], (1)$$

где α_c - коэффициент ослабления звуковых волн в вязкой и теплопроводной жидкости;

ω - круговая частота;

ρ_c - плотность жидкой среды;

μ_c - динамическая вязкость жидкой среды;

χ - коэффициент теплопроводности;

$c_{ак}$ - скорость распространения акустических колебаний в жидкой среде;

c_p, c_v - удельные теплоемкости среды в изобарном и изохорном процессах;

ζ - объемная вязкость (характеризует процесс диссипации энергии при объемных деформациях среды и квазиравновесный обмен энергией между поступательными и внутренними степенями свободы в каждой частице вещества).

Таким образом, теоретически наибольшая дальность распространения сигнала обеспечивается в диапазоне инфранизких частот.

На ультразвуковых частотах сигнал значительно затухает на расстояниях от нескольких метров до нескольких километров. Это явилось критерием для выбора диапазона рабочих частот при разработке технического устройства для контроля движения снарядов по генерируемым ими шумам.

Проведенные исследования подтвердили теоретические предпосылки по выбору рабочего диапазона частот шумов движения снаряда при разработке акустического устройства контроля. Наибольшая амплитуда шума наблюдается в диапазоне частот от 20-40 до 4000-5000 Гц, а частота меняется в пределах от 5-10 до 8000-10000 Гц.

Программа и методика исследований были следующими.

Измерения амплитуды шума в зависимости от расстояния между движущимся снарядом и местом установки акустического датчика производились с дискретностью в

100 м в диапазоне 6000 м, начиная от 3000 м до места установки датчика (по ходу движения снаряда) и от места установки датчика на расстоянии 3000 м, т.е. в 3000 м, 2900 м, 2800 м, ..., 100 м, 0 м, 100 м, 200 м, ..., и в 3000 м.

Зависимость амплитуды шума движения снаряда в трубопроводе от расстояния между движущимся снарядом и датчиком и в зависимости от материала манжет приведена на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что амплитуда шума движения снаряда в значительной степени зависит от расстояния между движущимся снарядом и местом установки датчика, т.е. чем ближе движущийся снаряд к месту установки датчика, тем амплитуда акустического сигнала выше, а при прохождении снаряда места установки датчика амплитуда акустического сигнала доходит до значений 1400-1800 мВ.

Рисунок 1. Зависимость амплитуды акустического сигнала от расстояния между движущимся снарядом и датчиком в зависимости от материала манжет/дисков снаряда

Значительное увеличение амплитуды сигнала (выше 200 мВ) начинается с расстояния менее 1000 м до места установки датчика.

Видно также, что диапазон разброса амплитуды шума движения снаряда в зависимости от материала манжет незначителен на расстояниях до 1000 м (составляет 20-40 мВ). На расстоянии в пределах от 1000 до 300 м разброс амплитуды в зависимости от материала манжет составляет 20-100 мВ, а на расстоянии менее 100 м - от 100 до 200 мВ.

Таким образом, влияние материала манжет/дисков на амплитуду акустического сигнала манжетно-дискового очистного устройства на расстояниях до 1000 м незначительно, а на расстояниях до 100 м величина разброса в 100-200 мВ также невелика, и этим фактором можно пренебречь при разработке устройства для контроля движения снаряда.

Амплитуда шума движения снаряда при его прохождении через поперечные сварные швы нефтепровода и подкладные кольца периодически, через каждые 8-10 с (при скорости движения снаряда, равном примерно 1 м/с, т.е. через каждые 9-10 м) кратковременно возрастала на 80-100 мВ по мере приближения (в пределах до 500 м) к пункту контроля по сравнению с амплитудой шумов снаряда между поперечными сварными швами трубы нефтепровода. На расстоянии менее 500 м амплитуда сигнала при переходе через сварные швы кратковременно возрастала уже на величину от 200 до 400 мВ.

Таким образом, при прохождении снаряда через поперечные сварные швы трубопровода происходит всплеск амплитуды шума движения снаряда, а количество всплесков амплитуды остается постоянным и равным количеству манжет и/или дисков на снаряде. При приближении снаряда к пункту контроля амплитуда шумов возрастает и достигает максимума при прохождении снарядом непосредственно места установки датчика. Амплитуда шума движения снаряда от расстояния между движущимся снарядом и датчиком определялась при использовании в качестве материала манжет снаряда полиуре-

тана марки АПИ-6, АПИ-3 и резины марки 2959, ИРП-1078.

При учете влияния степени парафинизации внутренней стенки нефтепровода на амплитуду и частоту шума снаряда измерения производились на нефтепроводе «Чернушка - Оса» диаметром 377 мм и протяженностью 108 км, который не очищался от парафина в течение 3-х лет эксплуатации.

Программа и методика проведения исследований были следующими.

Измерения амплитуды и частоты шума движения снаряда в зависимости от степени парафинизации нефтепровода производились с дискретностью в 100 м в диапазоне 4000 м, начиная от 2000 м до места установки микрофона (как при подходе снаряда к месту установки микрофона, так и при его уходе) и от места установки микрофона на расстояние 2000 м, т.е. в 2000 м, 1900 м, 1800 м, ..., 100 м, 0 м, 100 м, 200 м, ..., и в 2000 м.

Измерения АЧХ шума производились при трех последовательных пропусках очистного устройства с манжетами и дисками из резины марки ИРП-1078, а также при полностью очищенном нефтепроводе. При каждом запуске очистного устройства производилась замена манжет и дисков на новые.

Первоначальная степень отложения парафина на стенке нефтепровода «Чернушка - Оса» оценивалась, исходя из произведенных замеров толщины отложенного парафина на вырезанных из этого нефтепровода трех катушек. Первоначальная толщина осажденного парафина на стенке катушек была в пределах 4-5 мм. Предположим, что фактическая толщина парафина в нефтепроводе также равна 4-5 мм. В последующем степень отложения парафина на стенке нефтепровода оценивалась относительно, исходя только из количества выносимого очистным устройством парафина от одного пуска очистного устройства к другому пуску. Предполагая, что толщина парафина от одного пуска скребка к следующему пуску уменьшалась, например на 0,5-1 мм, была построена зависимость амплитуды акустического сигнала от толщины отложения парафина на стенке нефтепровода.

На рисунке 2 приведена зависимость амплитуды акустического сигнала от толщины отложения парафина на стенке нефтепровода.

Из рисунка 2 видно, что амплитуда шума движения снаряда находится в обратной зависимости от толщины парафинового слоя на стенке нефтепровода. Но величина изменения амплитуды сигнала в зависимости от толщины парафинового слоя незначительна и не в такой степени, чтобы можно было учитывать этот фактор при разработке устройства для контроля движения снаряда.

При учете влияния скорости движения снаряда на амплитуду и частоту шума движения снаряда измерения производились при скоростях движения от 0,5 до 1,0 м/с. Обеспечивать требуемую дискретность изменения скорости в 0,25 м/с, т.е. регулировать скорость движения снаряда на действующем

нефтепроводе, было невозможным. Поэтому исследование влияния этого фактора на амплитуду шумов было неполным.

Определение амплитуды шумов движения снаряда производилось на различных нефтепроводах, в которых фактическая скорость перекачки нефти была в пределах от 0,5 до 1,2 м/с.

Амплитуда шума движения снаряда находится в прямой зависимости от скорости движения снаряда в нефтепроводе. Но величина изменения амплитуды сигнала в зависимости от скорости незначительна, и учитывать этот фактор при разработке устройства для контроля движения снаряда также нет необходимости.

При движении снаряда в газопроводах и в трубопроводах с мультифазным продуктом влияние скорости движения на амплитуду шума значительнее.

Рисунок 2. Зависимость амплитуды акустического сигнала движения снаряда от толщины парафина на стенке нефтепровода

Проведенные исследования АЧХ шумов движения очистных устройств в трубопроводах показывают, что основными факторами, влияющими на величину амплитуды шума движения снаряда, являются:

- расстояние от снаряда до места установки датчика;
- частота акустического излучения от движущегося снаряда;
- твердость материала и степень износа манжет и/или дисков снаряда (в определенной степени);
- тип и состояние грунта, в который уложен трубопровод, а также тип внешнего изоляционного покрытия (при прослушивании движения снаряда с грунта);
- перекачиваемый продукт (газ, нефть или мультифазный продукт).

Исходя из анализа исследований АЧХ шума движения снарядов, можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным диапазоном частот при разработке устройства сопровождения снарядов в трубопроводах при очистке и диагностике является частотный диапазон от 20-40 до 4000-5000 Гц.

Основываясь на результатах проведенных исследований АЧХ шумов движения очистных и диагностических устройств, в Уфимском государственном нефтяном техническом университете еще в 1993 г. (впервые в России) было разработано устройство - акустический локатор под названием «Сенсор» (патент РФ № 2137977) [4]. Внешний вид устройства «Сенсор» приведен на рисунке 3.

Устройство «Сенсор» являлось в России первым специализированным прибором, предназначенным для контроля движения снарядов в трубопроводе.

В настоящее время модернизированное устройство производится в ООО «Научно-техническая фирма «ВОСТОКнефтегаз» под названием акустический локатор «ВОСТОК-АЛ» (рисунок 4) [5, 6]. Аналоги акустического локатора «ВОСТОК-АЛ» в настоящее время производят АО «Траснефть - Диаскан» [7], ООО «АПРОДИТ» [8] и ООО ЦОДТ «Семигорье» [9].

Основные технические характеристики всех указанных локаторов отличаются незначительно.

Рисунок 3. Внешний вид устройства «Сенсор»

Рисунок 4. Внешний вид акустического локатора «ВОСТОК-АЛ»

В настоящее время акустический локатор «ВОСТОК-АЛ» эксплуатируется на предприятиях ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Газпромнефть», ПАО «ЛУКОЙЛ», АО «КазТрансОйл» (Республика Казахстан) и на других предприятиях нефтегазовой отрасли РФ.

Таким образом, на основе экспериментальных исследований установлен эффективный диапазон частот шума движения внутритрубных устройств, распространяющегося по нефтепроводу на максимальное расстояние, и на основе полученных результатов было разработано техническое устройство контроля движения внутритрубных устройств, позволяющее обеспечить постоянную подконтрольность движущихся в трубопроводе очистных и диагностических устройств.

Выводы

Наибольшая амплитуда шума движения внутритрубного снаряда наблюдается в диапазоне частот от 20-40 до 4000-5000 Гц, то есть в диапазоне низких частот, а частота

изменяется в пределах от 5-10 до 8000-10000 Гц. Амплитуда шума движения снаряда в значительной степени зависит от расстояния между движущимся снарядом и местом установки акустического датчика. При приближении снаряда к месту установки датчика амплитуда шумов возрастает и достигает максимума в момент прохождения снарядом места установки датчика. При прохождении снаряда через поперечные сварные швы трубопровода происходит кратковременный всплеск амплитуды шума движения снаряда, а количество всплесков амплитуды остается постоянным и равным количеству манжет и/или дисков на снаряде. Амплитуда шума движения снаряда находится в обратной зависимости от толщины парафинового слоя в нефтепроводе, и величина ее изменения от толщины парафина при этом незначительна. Влияние материала манжет/дисков снаряда на амплитуду акустического сигнала также незначительно.

Список литературы

1. Мугаллимов Ф.М., Мугаллимов И.Ф., Сафонов В.А., Мугаллимов А.Ф. Каталог технологий, продукции и услуг ООО «НТФ «ВОСТОКнефтегаз». Уфа: «ПолиПак», 2015. 6 с.
2. Беляков В.Л., Панарин В.В., Абдулаев А.А., Алексеев А.Ю., Ахмерова З.Г. Ультразвуковые анализаторы качественных параметров нефти. М.: ВНИИОЭНГ, 1987. 51 с.
3. Мугаллимов Ф.М., Кунафин Р.Н., Абдулаев А.А. «Сенсор» - прибор для контроля прохождения средств внутритрубной диагностики и очистных устройств // Неразрушающий контроль и диагностика: тез. докл. XIV Российск. науч.-техн. конф. М.: Академия народного хозяйства, 1996. С. 475.
4. Пат. 2137977 РФ, МПК F 17 D 5/02. Устройство контроля движения очистных и диагностических объектов в трубопроводе / Ф.М. Мугаллимов, Р.Н. Кунафин, А.А. Абдулаев. 97107504/06, Заявлено 06.05.1997; Опубл. 20.09.1999. Бюл. 26.
5. Мугаллимов Ф.М., Мугаллимов И.Ф., Мугаллимов А.Ф. Очистка трубопроводов переменного диаметра // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Вып. 6 (112). С. 52-58. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-6-52-58.
6. Официальный сайт Научно-техническая фирма «ВОСТОКнефтегаз». URL: <http://www.vostokoil.ru> (дата обращения: 03.05.2020).
7. Официальный сайт «Траснефть-Диаскан». URL: <http://www.diascan.transneft.ru> (дата обращения: 03.05.2020).
8. Официальный сайт «АПРОДИТ». URL: <http://www.aprodit.ru> (дата обращения: 03.05.2020).
9. Официальный сайт Центр очистки и диагностики трубопроводов «Семигорье». URL: <http://www.semigor.ru> (дата обращения: 03.05.2020).

References

1. Mugallimov F.M., Mugallimov I.F., Safonov V.A., Mugallimov A.F. *Katalog tekhnologii, produktsii i uslug* ООО «NTF «VOSTOKneftegaz» [Catalogue of Technologies, Products and Services of LLC NTF VOSTOKneftegaz]. Ufa, PoliPak Publ., 2015. 6 p. [in Russian].
2. Belyakov V.L., Panarin V.V., Abdulaev A.A., Alekseev A.Yu., Akhmerova Z.G. *Ul'trazvukovye analizatory kachestvennykh parametrov nefiti* [Ultrasonic Analyzers of Qualitative Parameters of Oil]. Moscow, VNIIOENG Publ., 1987. 51 p. [in Russian].
3. Mugallimov F.M., Kunafin R.N., Abdulaev A.A. «Sensor» - pribor dlya kontrolya prokhozheniya sredstv vnutritrubnoi diagnostiki i ochistnykh ustroystv [«Sensor» - a Device for Monitoring the Passage of in-Line Diagnostics and Purification Devices]. *Tezisy dokladov XIV Rossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Nerazrushayushchii kontrol' i diagnostika»* [Abstracts of the XIV Russian Scientific and Technical Conference «Non-Destructive Testing and Diagnostics»]. Moscow, Akademiya narodnogo khozyaistva Publ., 1996, pp. 475. [in Russian].
4. Mugallimov F.M., Kunafin R.N., Abdulaev A.A. *Ustroystvo kontrolya dvizheniya ochistnykh i diagnosticheskikh ob"ektov v truboprovode* [Device for Check of Motion of Cleaning and Diagnostic Objects in Pipe Line]. Patent RF, No. 2137977, 1999. [in Russian].
5. Mugallimov F.M., Mugallimov I.F., Mugallimov A.F. *Ochistka truboprovodov peremennogo diametra* [Probability of Piping Integrity Loss under the Pumped Oil Pressure in the Welding Process]. *Problemy sбора, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2019, Issue 6 (112), pp. 52-58. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-6-52-58. [in Russian].
6. Official Website of Scientific and Technical Firm «VOSTOKneftegaz». Available at: <http://www.vostokoil.ru> (accessed 03.05.2020). [in Russian].
7. Official Website of «Trasneft'-Diaskan». Available at: <http://www.diascan.transneft.ru> (accessed 03.05.2020). [in Russian].
8. Official Website of «APRODIT». Available at: <http://www.aprodit.ru> (accessed 03.05.2020). [in Russian].
9. Official Website of Center for Cleaning and Diagnostics of Pipelines «Semigorye». Available at: <http://www.semigor.ru> (accessed 03.05.2020). [in Russian].

Авторы

• Мугаллимов Фанзиль Мавлявиевич, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: mugallimov@mail.ru

• Мугаллимов Ильдар Фанзиевич
ООО «Научно-техническая фирма «ВОСТОКнефтегаз»»
Заместитель генерального директора
Российская Федерация, 450027, г. Уфа, а/я 11
e-mail: ildarmif@mail.ru

• Мугаллимов Азат Фанзиевич
ООО «Научно-техническая фирма «ВОСТОКнефтегаз»»
Главный инженер
Российская Федерация, 450027, г. Уфа, а/я 11
e-mail: vngazat@mail.ru

The Authors

• Mugallimov Fanzil M., Doctor of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Oil and Gas Field Machinery and Equipment Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russian Federation
e-mail: mugallimov@mail.ru

• Mugallimov Ildar F.
Research and Technical Firm
«VOSTOKneftegaz» LLC
Deputy General Director
PO Box 11, Ufa, 450027, Russian Federation
e-mail: ildarmif@mail.ru

• Mugallimov Azat F.
Research and Technical Firm
«VOSTOKneftegaz» LLC
Chief Engineer
PO Box 11, Ufa, 450027, Russian Federation
e-mail: vngazat@mail.ru