

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН НА ТЕРМОКАРСТОВОМ ГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

УДК  
622.248.9

THE EXPLORATION OF VIBRATION WHILE DRILLING WELLS  
ON TERMOKARSTOVOE GAS DEPOSIT

Заляев М. Ф.

Уфимский государственный  
нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Российская Федерация

M. F. Zalyaev

Ufa State Petroleum Technological  
University,  
Ufa, the Russian Federation

Бурение скважин на нефть и газ является сложным многофакторным процессом. Наряду с традиционными вопросами буровой науки, все большую значимость приобретают вопросы рациональной эксплуатации имеющегося в наличии парка буровой техники, в особенности глубинного оборудования, имеющегося явно недостаточный межремонтный ресурс. Одним из путей достижения своего назначенного ресурса для глубинного оборудования является получение, обработка и использование достоверной информации с забоя бурящейся скважины. В статье анализируются данные по вибрации КНБК, замеренные телеметрическими системами MWD/LWD при бурении различных скважин на Термокарстовом газоконденсатном месторождении. Неравномерность вращения КНБК и бурительной колонны является источником возникновения крутильных шокв, создающие высокочастотную и высокоамплитудную вибрацию. Выявлена взаимосвязь между крутильными и боковыми колебаниями. Анализ показал, что повышенная вибронгруженность бурительной колонны и КНБК приводит к снижению механической скорости проходки и преждевременному износу оборудования.

Подбор всех элементов КНБК с учетом их способности являться источником возникновения различных колебаний и регулирование параметров бурения, таких как нагрузка на долото, частота вращения приведет к увеличению скорости бурения, уменьшению количества преждевременного выхода из строя бурительного оборудования и сокращению времени на строительство скважины. Контроль в реальном времени за шоками, вибрациями и прерывистым скольжением поможет решить техническую задачу повышения точности оценки состояния глубинного оборудования.

Drilling of wells for oil and gas is a complex multifactorial process. Along with the traditional issues of drilling science, becoming more and more important questions the rational exploitation of the available fleet of drilling equipment, particularly deep equipment available is clearly insufficient time between overhauls. One way to achieve its assigned resource for deep equipment is the acquisition, processing and use of reliable information from the bottom of drilled wells. This article analyzes data on the vibrations of the BHA, measured telemetry systems MWD/LWD in drilling wells in various Termokarstovoye gas condensate field. Uneven rotation of the BHA and drill string is the source of a torsional shocks, creates high-frequency and high-amplitude vibration. The correlation between torsional and lateral vibrations. Analysis showed that the increased vibration of drillstring and BHA reduces ROP and premature wear of the equipment.

Selection of all BHA components for their ability to be a source of a variety of vibrations and adjustment of drilling parameters such as WOB, rotational speed will increase the drilling speed, reducing the number of premature failure of the drilling equipment and reducing the time for construction of the well. Real-time monitoring for shocks, vibrations and stick-slip will help solve the technical problem of improving the accuracy of assessing the state of deep equipment.

**Ключевые слова:** осевая вибрация, крутильная вибрация, боковая вибрация, компоновка низа бурительной колонны, механическая скорость бурения, неравномерное вращение КНБК, колебания.

**Key words:** axial vibration, torsional vibration, lateral vibration, bottom hole assembly, rate of penetration, stick/slip motion of BHA, frequency.

Эксплуатация забойного инструмента при бурении скважин связана с различными динамическими процессами. Одним из основных источников отказов элементов компоновки низа бурительной колонны (КНБК) являются вибрационные явления. КНБК может в течение длительного времени выдерживать усталостные нагрузки, но во многих случаях разру-

шение элементов КНБК является следствием вибрационной нагрузки, воздействующей всего лишь за один рейс. Процесс бурения всегда характеризуется интенсивными вибрациями глубинного оборудования из-за многочисленных факторов: неоднородности горных пород, случайных колебаний осевой нагрузки, пульсации промывочной жидкости, характеристик элементов КНБК. Поэтому до сих пор актуальными остаются вопросы, связанные с изучением и борьбой с вибрациями для предотвращения аварий и отказов элементов КНБК, сокращению непроизводительного времени, незапланированных простоев бурового оборудования [1-7].

Известно, что бурение различных по твердости горных пород дает различные вибрации инструмента

по спектрам частот и амплитуд колебаний. Такая особенность колебаний может быть использована для оценки технического состояния элементов КНБК в процессе его эксплуатации. Предложенные разными авторами косвенные методы диагностирования глубинного оборудования позволят обеспечить управление процессом бурения. С целью выявления максимальных значений колебаний, их амплитуд, частот, продолжительности и сравнения исследуемых параметров был проведен анализ информации полученной посредством интерпретации результатов измерений приборами MWD/LWD при бурении скважин на Термокарстовом газоконденсатном месторождении.

Обзор публикаций, посвященных вибрациям бурильной колонны, позволил выделить три типа основных вибрации [8, 9]:

- крутильная (торсионная) вибрация, возникает в результате кратковременной остановки или снижения оборотов КНБК. Неравномерное вращение (Stick/Slip) часто наблюдается в процессе бурения и это крайняя форма крутильной вибрации при которой долото останавливается на время. Увеличение длины бурильной колонны приводит к возрастанию степени Stick/Slip, длина периода замирания долота увеличивается и долото высвобождается с большим ускорением. Крутильные колебания приводят к усталостному повреждению соединений КНБК и повреждению вооружения долота. Бурильная колонна выше забойного двигателя может быть также вовлечена в Stick/Slip движение, даже когда ВЗД вращает долото с постоянной скоростью;

- осевая вибрация, возникает в результате движения долота, КНБК вдоль оси бурильной колонны. Данное явление представляет собой подсакивание долота на забое, однако следует понимать, что долото редко отрывается от забоя. Этот процесс приводит к циклическому увеличению и уменьшению нагрузки на долото. Осевые колебания чаще всего возникают при бурении скважин в твердых породах с использованием шарошечных долот;

- боковая (изгибная) вибрация вызвана большими изгибающими напряжениями, возникает в результате бокового движения КНБК от одной стороны стенки скважины к другой (удары КБК о стенки скважины). Боковая вибрация это наиболее разрушительный тип вибрации который создает шоки больших значений, в особенности при ударах КНБК о стенки скважины.

Измерения значений вибрации (шоков) производились на скважине №102 Термокарстового газоконденсатного месторождения при бурении под эксплуатационную колонну, в интервалах 2567,2-3003,5м (по вертикали 2460,2-2618,8м), с изменением зенитного угла от 48,81° до 84,79°.

Измерения вибрации осуществлялось приборами MWD/LWD с применением телесистемы Ecoscope,

Telescope. Телесистема была снабжена сенсорами для замеров вибрации. Прибор для замера вибрации состоял из трехосного акселерометра и одноосного акселерометра. Этот дополнительный акселерометр помогал определить значение крутильных и боковых шоков и вибраций. Шоки измеряются в G, где 1G равен силе гравитации, представленной как ускорение 9,81 м/с<sup>2</sup>. Сенсор усредненного неравномерного вращения показывал изменения в измерении количества оборотов. Показатель неравномерного вращения показывает разницу между максимальным и минимальными значениями вращения КНБК за 40 секунд [8].

Компоновка низа бурильной колонны включала в себя: долото БИТ 220,7 ВТ 513 УСВ.32-01 / Винтовой забойный двигатель R172N754 7/8 1,2 гр (9,76 м) / Переливной клапан ПК (172 мм), (0,71 м) / EcoScore (174 мм), (7,7 м) / TeleScore (172 мм), (7,6 м) / Немагнитная утяжеленная бурильная труба НУБТ (172 мм), (9,4 м) / Трубы бурильные толстостенные ТБТ (127 мм), (25 м) / Яс (172 мм), (6,5 м) / Трубы бурильные толстостенные ТБТ (127 мм), (116,5 м) / Трубы бурильные с приваренными замками ТБПК (127 мм).

Литологическая характеристика горных пород представлена: песчаниками светло-серыми, порово-базального типа средней крепости, алевритами светло-серыми, кварцевыми, мелкозернистыми средней крепости и аргиллитами темно-серыми, плотными.

На рисунке 1 представлены значения пиковых крутильных, боковых и осевых шоков.

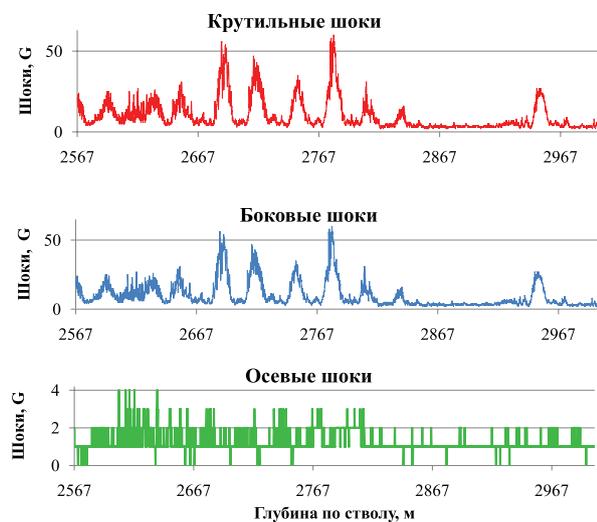


Рисунок 1. Результаты измерений различных шоков при бурении скважины №102 Термокарстового ГКМ

Как видно из графиков, представленных на рисунке 1, осевые значения шоков являются минимальными. Амплитуда значений крутильных и боковых шоков превышает осевые шоки 10-15 раз. Основную опасность для скважинного бурового обо-

рудования представляют именно боковые и крутильные шок.

Корреляционный анализ измерений крутильных и боковых шок, представленный на рисунке 2 показал взаимосвязь крутильных и боковых шок. Крутильные колебания обуславливаются непосредственно изменением крутящих моментов и могут являться источником возникновения боковых вибраций бурильной колонны.

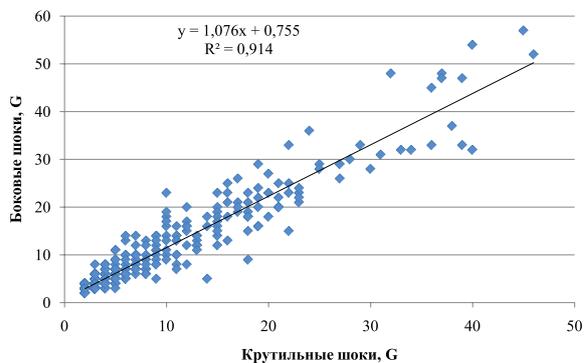


Рисунок 2. Корреляционное поле зависимости крутильных и боковых шок

Сравнивая графики измерения боковых и крутильных шок с показателем неравномерного вращения КНБК на различных скважинах Термокарстового ГКМ (рисунок 3), следует отметить, что при увеличении показателя неравномерного вращения увеличивается амплитуда крутильных шок. Можно предположить, что одним из основных источников возникновения крутильных шок является неравномерность вращения КНБК. При строительстве скважин № 102 и 101 в интервалах 2850-2900 м телеметрические приборы зафиксировали снижения амплитуды крутильных, боковых шок и неравномерность вращения КНБК, данный эффект связан с изменением литологических свойств горных пород.

В процессе строительства скважины происходит увеличение амплитуды крутильных шок от минимальных до максимальных значений. Возрастание амплитуды шок можно объяснить эффектом наложения частот возникшего шока и остаточной вибрации в КНБК, при этом амплитуда равна сумме амплитуд шока и вибрации. Данное явление носит название конструктивной интерференции [8]. На рисунке 3 показаны этапы начала бурения после наращивания бурильной колонны, где амплитуда вибрации КНБК не превышает 6G, по мере углубления породоразрушающего инструмента за счет неравномерного вращения КНБК, stick/slip эффектов амплитуда вибрации достигает значения 60G.

На протяжении всего процесса бурения, КНБК испытывает вибрацию и различные значения крутящего момента при бурении долотом постоянно меня-

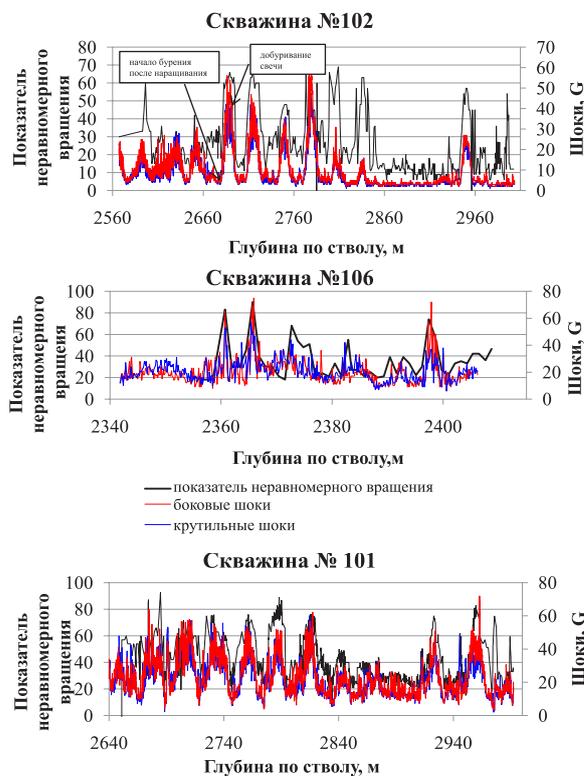


Рисунок 3. Сравнение различных шок и показателя неравномерного вращения КНБК

ющихся горных пород. В результате долото вращается на забое неравномерно. Неравномерное вращение это замедление и ускорение вращения буровой колонны, в крайних случаях КНБК может остановиться и поменять направление вращения. При бурении, силы трения и сопротивления горной породы разрушению накапливаются, что приводит к замедлению числа оборотов или к остановке КНБК по сравнению с количеством оборотов на устье. В результате этого, энергия передаваемая ротором или верхним приводом накапливается в бурильной колонне. Как только накопленная энергия превысит силы трения и сопротивления разрушению горной породы, происходит ее высвобождение в виде резкого увеличения скорости вращения долота и КНБК. Этот процесс является источником появления крутильных шок и называется stick/slip motion [9]. Корреляционный анализ, представленный на рисунке 4, также показывает взаимосвязь между показателем неравномерного вращения КНБК и крутильным шоком.

Неравномерность вращения КНБК зависит от многих факторов, таких как:

- тип и количество используемых калибраторов;
- тип и физические свойства горной породы;
- силы трения, траектория, кривизны скважины;
- тип используемого долота, приложенной нагрузки и количество оборотов.

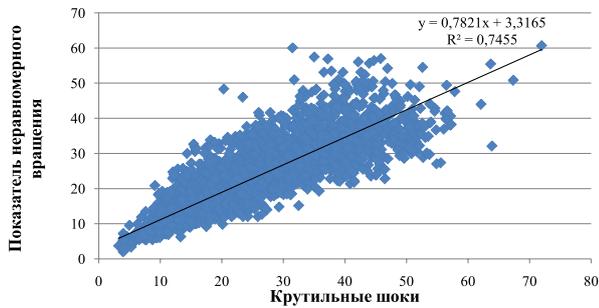


Рисунок 4. Корреляционное поле зависимости крутильных шоков и показателя неравномерного вращения КНБК

В результате остановки и последующего ускорения вращения долота возникают высокочастотные, высокоамплитудные колебания. Телесистемой Ecoscore были замерены колебания с частотой свыше 100Гц и амплитудой приблизительно 50G. Исходя из данных по измерениям вибрации, вследствие работы КНБК в крайне жестких условиях происходит процесс накапливания усталостного напряжения. В данных условиях работы бурильного оборудования можно предположить, что при частоте 100 Гц в течение 3 ч может произойти свыше 1 млн циклов напряжений, что приведёт к усталостному разрушению элементов КНБК.

На рисунке 5 представлены данные станции ГТИ и соответствующие им графики крутильных, боковых шоков. При анализе данных видно, что повышение вибрации негативно влияет на скорость проходки. Увеличение нагрузки приводит не к росту скорости бурения, а к возрастанию амплитуды шоков. Снижение амплитуды колебаний происходит при полной остановке процесса строительства скважины или наращивании бурильной колонны.

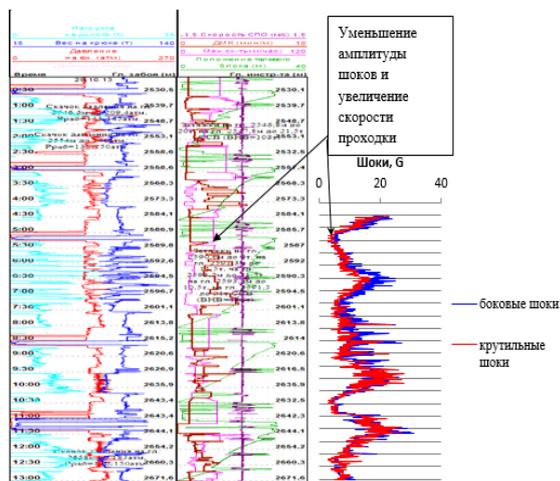


Рисунок 5. Суточные данные станции ГТИ, измерения крутильных и боковых шоков

Скорость бурения зависит от поставляемой механической энергии долоту. В условиях, когда большая часть энергии расходуется на возбуждение крутиль-

ной, боковой и осевой вибрации снижается механическая скорость проходки. При возникновении колебаний в бурильной колонне их амплитуда, частота не снижается при изменении параметров бурения, только при полной остановке процесса бурения и выдерживания бурильной колонны в состоянии покоя наблюдается снижение уровня вибрации и рассеивание инерционной энергии бурильной колонны. Для уменьшения амплитуды шоков, вибрации необходим их непрерывный контроль, что позволит нам увеличить скорость бурения, снизить цену и полное время строительства скважины.



Рисунок 6. Состояние долота БИТ 220,7 ВТ 513 УСВ.32-01 № 16767 после отработки на скважине № 102 Термокарстового ГКМ

В качестве примера на рисунке 6 приведено долото БИТ 220,7 ВТ 513 УСВ.32-01 № 16767 после его отработки на скважине №102. Код износа составил 0-3-СТ,ER-S,G-X-1-NR-TD. При внимательном осмотре долота, стало очевидно, что долото подвергалось крутильной вибрации вследствие неравномерного вращения. При неравномерном вращении происходят периодические остановки, а затем резкие ускорения, резцы "PDC" подвергаются значительным перепадам температур. Результатом данного типа вибраций является перегрев резцов, при этом наружные резцы подвергаются большему повреждению из-за большей линейной скорости, а внутренние ряды резцов практически не изношены.

### Выводы

В результате интерпретации данных полученных в процессе бурения и сравнения графиков крутильных, боковых, осевых шоков и неравномерного вращения КНБК сделаны следующие выводы:

1. Амплитуда осевых шоков меньше амплитуды боковых и крутильных шоков в 15 раз.

В КНБК в результате действия боковых вибраций возникает обратное вибрационное вращение

(BackwardWhirl). “BackwardWhirl” самая жесткая форма вибрации, создающая высокочастотные, высокоамплитудные колебания.

2. Установлена закономерность между крутильными, боковыми шоками и неравномерным вращением КНБК. Необходим контроль факторов оказывающих влияние на неравномерность вращения бурильной колонны, что позволит снизить амплитуды шоков и вибраций.

3. Для снижения неравномерности вращения, а следовательно и амплитуды крутильной вибрации необходимо снизить нагрузку на долото и увеличить частоту вращения, применять более жесткие КНБК, применять растворы с повышенными смазывающими свойствами. В жестких КНБК применение калибраторов увеличит площадь соприкосновения КНБК со стенками скважин, что приведет к увеличению сил трения и созданию условий для неравномерного вращения компоновки. Использование роликовых центраторов в КНБК снизит возможность возникновения крутильной вибрации и эффекта stick/slip.

4. Скорость бурения зависит от поставляемой механической энергии долоту. В условиях, когда большая часть энергии расходуется на возбуждение крутильной, боковой и осевой вибрации снижается

механическая скорость проходки. При возникновении колебаний в бурильной колонне их амплитуда, частота не снижается при изменении параметров бурения. Только при полной остановке процесса бурения и выдерживания бурильной колонны в состоянии покоя наблюдается снижение уровня вибрации и рассеивание инерционной энергии бурильной колонны. Грамотный выбор всех элементов КНБК с учетом их способности являться источником возникновения различных колебаний (применение долот PDC с меньшим углом наклона резцов, уменьшение агрессивности долота) и регулирование параметров бурения, таких как нагрузка на долото, частота вращения приведет к увеличению скорости бурения, уменьшению количества преждевременного выхода из строя бурильного оборудования и сокращению времени на строительство скважины. Для уменьшения амплитуды шоков, вибрации и необходим их мониторинг, что позволит увеличить скорость бурения, снизить цену и полное время строительства скважины. Анализ информации полученной при строительстве скважин в реальном времени с применением телесистем MWD/LWD позволит сформировать достоверное представление о состоянии глубинного оборудования в процессе его эксплуатации.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Ямалиев В. У., Ишемгузин И. Е. Диагностирование бурового и нефтепромыслового оборудования: учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002. 83 с.

2 Ямалиев В. У., Имаева Э. Ш., Салахов Т. Р. О возможности распознавания технических состояний глубинного бурового оборудования // Нефтегазовое дело: 2005 . Т.3. С.127-132.

3 Хасанов М. М., Якупов Р. Н., Ямалиев В.У. Вейвлет-анализ в задаче диагностирования нефтепромыслового оборудования // Вестник инженерингового центра. (Юкос). 2001. №2. С.22-25.

4 Ишемгузин Е. И., Ямалиев В. У., Султанов Б. З. Использование спектра колебаний давления промывочной жидкости для оценки технического состояния долота при турбинном бурении // Изв. Вузов. Нефть и Газ. 1989. №5. С.31-34.

5 Ямалиев В. У., Имаева Э. Ш. Применение вероятностно-статистического метода диагностирования нефтяного оборудования // Проблемы нефтедобычи Волго-Уральского региона: сб. докл. науч.-техн. конф. Уфа, 2000. С.112-113.

6 Алгоритм оценки корреляционной функции при диагностировании глубинного оборудования // В. У. Ямалиев [и др.]// Научно-технические достижения и передовой опыт в нефтегазовой промышленности: сб. науч. тр. /УГНТУ. Уфа, 1999. С.190-193.

7 Ямалиев В. У. Эксплуатационно-технологическая оценка состояния глубинного бурового оборудования: автореф дис.... д-ра техн. наук. Уфа, 2002. 48 с.

8 Fahim S. M., Harmer Richard, Harkness Chad Shock and vibration technology-based training. Schlumberger 2013. Vol. 159.

9 Drillstring vibrations and vibration modeling. Schlumberger Vol.4.

#### REFERENCES

1 Yamaliev V. U., Ishemguzhin I.E. Diagnostirovanie burovogo b neftepromislovogo oborudovaniay: ucheb. posobie. Ufa: izd-vo UGNTU.200083s.[in Russian].

2 Yamaliev V. U., Imaeva E. Sh., Salakhov T.R. O Vozmozhnosti raspoznavaniya tehniceskikh sostoyanii glubinnoo oborudovaniya // Neftegazovoe delo: 2005. T. 3S.127-132. [in Russian].

3 Khasanov M. M., Yakupov R. N., Yamaliev V. U. Veivlet-analiz v zadache liagnostirovaniya neftepromislovogo oborudovaniay// Vestnik inzhiniringovogo centra. (Ucos) 2001.№2.S.22-25. [in Russian].

4 Ishemguzhin E. I., Yamaliev V. U., Sultanov B. Z. Ispolzovanie spectra colebanii davlenia promiv ochnihzhidkosteidlyaoctenk itehniceskogosostoyaniyadolotapriturbinno mburenii // Izv. vuzov. Neft' i gaz. 1989.№5S.31-34.[in Russian].

5 Yamaliev V. U., Imaeva E. Sh. Primenenie veroyatnostno-statisticheskogo metoda diagnostirovaniya nefteyanogo oborudovaniya // Problemi nefteodobichi Volga-Uralscogo regiona : sb.dokl. nauch.-tehn. konf. Ufa.2000. S.112-113.[in Russian].

6 Algoritm ocenki korrelyacionnoi funcii pri diagnostirovanii glubinnoo oborudovaniya // V. U. Yamaliev [i dr.]. // Nauchnie I tehniceskie dostizheniya i peredovoi opit v neftegazovoi promishlennosti. Sbornik nauchnih trudov. Ufa. USPTU, 1999. S.190-193.[in Russian].

7 Yamaliev V. U. Ekspluatacionno-technologicheskaya ocenka sostoyaniya glubinnoo oborudovaniya: avtoref. dis.... doc-ra tehn. nauk. Ufa, 2002.48 s. [in Russian].

8 Fahim S. M., Harmer Richard, Harkness Chad Shock and vibration technology-based training. Schlumberger - 2013. Vol.159.

9 Drillstring vibrations and vibration modeling. Schlumberger Vol.4.

*Залаяев М. Ф., инженер технологической службы, ООО НПП «Буринтех», г. Уфа, Российская Федерация  
M. F. Zalyaev, Engineer of Technological Service Scientific and Production Enterprise «BURINTEKH», Ufa, the Russian Federation  
e-mail: marat1986zalyaev@gmail.com*