

Снижение вибрационной нагрузки на породоразрушающий инструмент и элементы КНБК путем применения демпфирующего переводника

Т.В. БАДРЕТДИНОВ,
инженер-конструктор

Г.Г. ИШБАЕВ,
д.т.н., профессор,
генеральный директор

А.Г. БАЛУТА,
заместитель
генерального директора –
начальник ЦР

А.Н. ШАРИПОВ,
начальник отдела

А.Ю. ДРАГАН,
заместитель начальника отдела
reklama@burinteh.com

ООО НПП «БУРИНТЕХ»

В.У. ЯМАЛИЕВ,
д.т.н., профессор кафедры

ТМО УГНТУ

Начало массового применения в бурении долот режуще-скользящего действия с резцами PDC в конце ХХ – начале ХХI вв. выявило неожиданную проблему в виде отсутствия подходящих устройств гашения вибрационных колебаний, возникающих при работе скважинного инструмента. Авторы предлагают решение с помощью применения демпфирующего переводника.

Ключевые слова: бурильная колонна, вибрационные колебания, демпфирующий переводник, долото, компоновка низа бурильной колонны, скважинное оборудование

REDUCTION OF VIBRATION LOAD ON THE ROCK-CUTTING TOOL AND BHA ELEMENTS BY USING A DAMPING SUB

T. BADRETDINOV, G. ISHBAEV, A. BALUTA, A. SHARIPOV,
A. DRAGAN, LLC SPE «BURINTEKH» LLC ,
V. YAMALIEV, USPTU

The beginning of mass application of drilling bits cutting-chipping action with the PDC cutters in the end of XX – beginning of XXI century has revealed an unexpected problem in the form of a lack of suitable devices to quench the vibrations that occur when the downhole tool. The authors propose a solution by applying the damping sub.

Keywords: drill string, vibration, damping sub, bit, bottom hole assembly, down hole equipment

Сложная экономическая ситуация на мировом рынке углеводородов оказывает серьезное давление на все области нефтегазовой промышленности нашей страны и подталкивает ее к ускоренному развитию. Поэтому процесс разработки новых высокоеффективных технологий и оборудования набирает обороты с новой силой. Однако существует еще много серьезных задач, которые очень важно решить в самое ближайшее время.

Так, например, в бурении начало массового применения долот режуще-скользящего действия с резцами PDC в конце ХХ – начале ХХI вв. выявило неожиданную проблему в виде отсутствия подходящих устройств гашения вибрационных колебаний, возникающих при работе скважинного инструмента. Анализируя патентные документы последних 40 лет, можно отметить, что большинство существующих на тот момент конструкций демпферов могло эффективно применяться лишь с шарошечными долотами. Как правило, это низкочастотные высокоамплитудные устройства, направление работы которых совпадает с осью скважины.

Причина заключается в механизме разрушения горной породы. Долота дробящескользящего действия, в отличие от PDC-долот, не создают высокого реактивного момента при работе и поэтому практически не подвержены влиянию крутильной вибрации – stick-slip. Поэтому основным источником возникновения колебаний является циклическое подскаивание шарошечного долота на забое, проявляющееся в виде увеличения

При появлении осевой вибрации большой амплитуды следует увеличить нагрузку и уменьшить скорость вращения долота.

Применение демпфирующих устройств, амортизаторов, виброгасителей в данном случае наиболее эффективно в отличие от других типов вибраций.



Характерными признаками проявления крутильной вибрации являются: слом вооружения долота, особенно в зоне, образующей диаметр стенок скважины; усталостный износ резьбовых соединений вследствие их перетяжки повышенным моментом и риск отворота и полета оборудования в скважину.

и уменьшения осевой нагрузки. Важно отметить, что вне зависимости от типа применяемого породоразрушающего инструмента на бурильную колонну также действует боковая изгибающая вибрация, оказывающая наиболее разрушительное влияние.

Остановимся немного подробнее на основных типах вибраций бурильной колонны и конструкциях демпфирующих устройств:

1. Осевая вибрация чаще всего возникает при смене горных пород, имеющих разные свойства, а также при прохождении твердых пропластков. Как уже отмечалось, направление колебательного движения совпадает с осью вращения инструмента. Из-за цикличности значений осевой нагрузки возникает дополнительная энергия, способствующая разрушению горной породы, но в то же время негативно действующая на сам породоразрушающий инструмент и элементы КНБК. Это ведет к слому и преждевременному износу вооружения долота, разгерметизации и повреждению опор, выходу из строя подшипниковых узлов винтовых забойных двигателей и элементов телеметрических систем и, как следствие, к снижению ресурса всего скважинного инструмента [1 – 3]. Осевые колебания имеют частоту 1 – 10 Гц, а скорость их затухания напрямую зависит от веса и жесткости компоновки [4]. Следовательно, для уменьшения амплитуды осевых колебаний в КНБК вводят дополнительные секции утяжеленных труб, калибраторов и т.д. Однако увеличение веса колонны без изменения режимов бурения может привести лишь к увеличению ударного импульса. Поэтому при появлении осевой вибрации большой амплитуды следует увеличить нагрузку и уменьшить скорость вращения долота. Применение демпфирующих устройств, амортизаторов, виброгасителей в данном случае наиболее эффективно в отличие от других типов вибраций. В основе большинства известных конструкций лежит узел демпфирования, состоящий из тарельчатых либо винтовых пружин с ходом рабочего вала до 300 мм, а их общий габаритный размер достигает двух метров. При расположении длинномерного демпфера непосредственно над долотом могут возникнуть сложности ориентирования ствола скважины. Поэтому усилия разработчиков бурового инструмента направлены на создание компактного устройства с более энергоемким демпфирующим узлом.

2. Крутильная вибрация или Stick-slip motion представляет собой неравномерное вращение бурильной колонны, вызванное резкими ускорениями и замедлениями при ее вращении. Долото приостанавливается (длительностью порядка десятых долей секунды)

с равной периодичностью, что вызывает рост крутящего момента и скручивание всей колонны. При превышении момента скручивания над моментами сопротивления резания породы и момента сил трения о стенки скважины происходит резкое ускорение долота – проскальзывание, когда его угловая скорость резко возрастает (в 2 – 3 раза). Длительность такого процесса может достигать нескольких секунд, а максимальная интенсивность колебаний происходит в нижней части колонны. При этом частота таких колебаний не превышает 1 Гц [4]. Характерными признаками проявления крутильной вибрации являются: слом вооружения долота, особенно в зоне, образующей диаметр стенок скважины; усталостный износ резьбовых соединений вследствие их перетяжки повышенным моментом и риск отворота и полета оборудования в скважину.

Как говорилось выше, чаще всего крутильная вибрация возникает при работе с PDC-долотами. При этом выбор долота с большой агрессивностью, обусловленный стремлением буровиков сократить время бурения интервала, может привести к тому, что нарушается баланс между жесткостью колонны и реактивным моментом от горной породы, что в свою очередь ведет к выходу из зоны стабильного бурения и возникновению крутильной вибрации. То же самое происходит и при неверно подобранном режиме бурения, когда при слишком большой осевой нагрузке и малой скорости вращения вооружение долота сильно заглубляется в породу за один оборот [5]. Также следует отметить, что вероятность появления крутильной вибрации увеличивается с ростом глубины и зенитного угла скважины, а также при прохождении твердых пропластков.

Гашение крутильной вибрации также происходит за счет рассеивания энергии по элементам бурильной колонны, находящимся над долотом, и общим сопротивлением трения о стенки скважины. Но основным способом устранения крутильной вибрации является изменение режима бурения. Для этого ограничивают осевую нагрузку и увеличивают скорость вращения. Возможно также применение более быстроходных забойных двигателей и включение в КНБК демпфирующих устройств, работающих в тангенциальном направлении. Так как подобные демпферы создают дополнительную эластичность колонны, главной целью их применения становится – снижение тангенциальной ударной нагрузки на вооружение долота. Зачастую это оправдано при бурении на больших глубинах, когда ресурс породоразрушающего инструмента важнее скорости проходки.

3. Поперечная вибрация представляет собой маятниковое движение в направлении, перпендикулярном оси скважины. Большие знакопеременные изгибные

В результате поперечного движения вкупе с вращением бурильной колонны возникает такое явление как завихрение. Под завихрением понимают самоподдерживающееся эксцентричное вращение инструмента вокруг точки, не являющейся ее геометрическим центром.

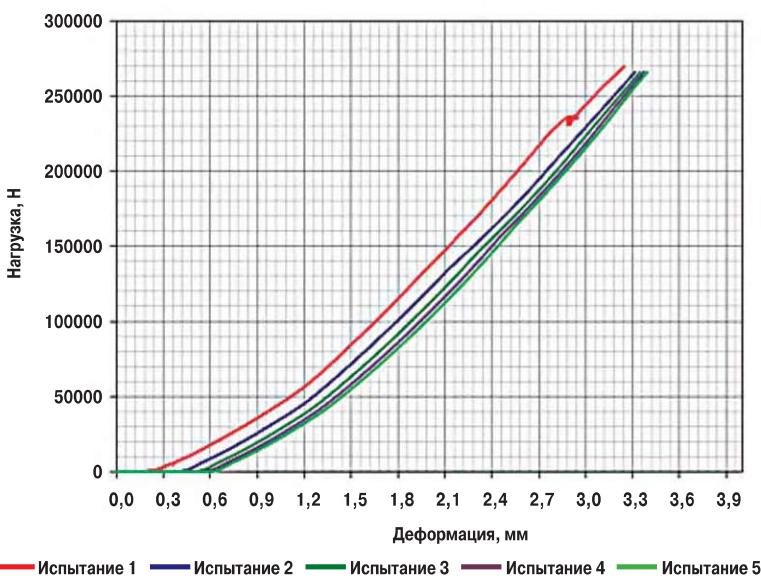


Рис. 1. График нагрузки на демпфер

напряжения являются причиной около 75 % отказов и аварий. В результате такого поперечного движения вкупе с вращением бурильной колонны возникает такое явление как завихрение. Под завихрением понимают самоподдерживающееся эксцентричное вращение инструмента вокруг точки, не являющейся ее геометрическим центром. Следует отметить, что завихрения могут происходить как по направлению часовой стрелки, так и против, причем это направление может постоянно меняться [6]. При этом происходит спиралеобразное увеличение диаметра ствола скважины. Различают завихрение долота и завихрение КНБК, имеющие частоту колебаний 5 – 100 Гц и 5 – 20 Гц соответственно [7]. Для решения этой проблемы режим бурения меняется следующим образом: понижают обороты вращения и увеличивают осевую нагрузку. Причем эти корректировки обязательно следует проводить после полной остановки колонны. Применение классических конструкций демпфирующих устройств при завихрениях и поперечных вибрациях малоэффективно. Для ограничения их разрушительного действия используют комбинацию с механическими ограничителями поперечного действия такими, как роликовый центратор, расширитель, полноразмерный калибратор и пр.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что необходимость создания компактного демпфирующего устройства, способного эффективно работать как в осевом, так и в тангенциальном направлении, является одним из наиболее напрашивющихся решений для повышения производительности работы скважинного инструмента.

Являясь лидером российского рынка бурового оборудования, компания ООО НПП «БУРИНТЕХ» не могла оставить эту проблему без должного внимания. Главным преимуществом компании являются оперативная обратная связь с заказчиком и тщательное изучение потребностей буровиков. С этой целью силами отдела породоразрушающего инструмента центра Разработки ООО НПП «БУРИНТЕХ» был разработан буровой демпфер продольных и крутильных колебаний (заявка на полезную модель от 02.12.2016, рег. № 2016147425).

Суть разработки заключается в следующем: две корпусные детали, имеющие замковые резьбы, взаимодействуют между собой посредством спиральных шлицов. Благодаря небольшому зазору между шлицами в осевом и тангенциальном направлении обе детали ограниченно подвижны друг относительно друга. Все зазоры образуют единую полость, которая заполняется упругим полимерным материалом, делая соединение неразборным. Минимум деталей и простота конструкции придают изделию высокую надежность.

На рис. 1 показан график нагрузки демпфера с упругим полимерным материалом с твердостью 65 единиц по Шору.

Из графика видно, что при нагрузке в 27 т упругая деформация составляет всего 3,5 мм. Такая большая энергоемкость материала позволила сконструировать очень компактное изделие, что особенно важно при установке демпфера непосредственно над долотом. Длина демпфера под эксплуатационную колонну без ниппеля составляет всего 300 мм, а при варьировании твердостью и объемом полимерного материала появляется возможность разработки конструкции практически под любой типоразмер бурового инструмента.

Прежде чем провести опытно-промышленные работы демпфера в условиях реальной скважины, были проведены стендовые испытания на буровом станке ЗИФ-1200 со снятием показателей вибрации. Обычная компоновка состоит из долота, демпфера, переводника и ведущей штанги станка (рис. 2).

На станину бурового стенда устанавливается датчик-акселерометр, измеряющий колебания в трех направлениях. Измеренные значения в режиме он-лайн

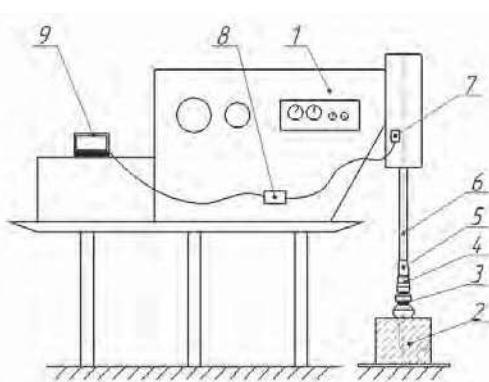


Рис. 2. Схема бурового стенда для испытаний:

1 – буровой станок; 2 – гранитный камень; 3 – PDC долото; 4 – демпфер; 5 – переводник; 6 – ведущая штанга; 7 – блок акселерометров; 8 – АЦП; 9 – ЭВМ

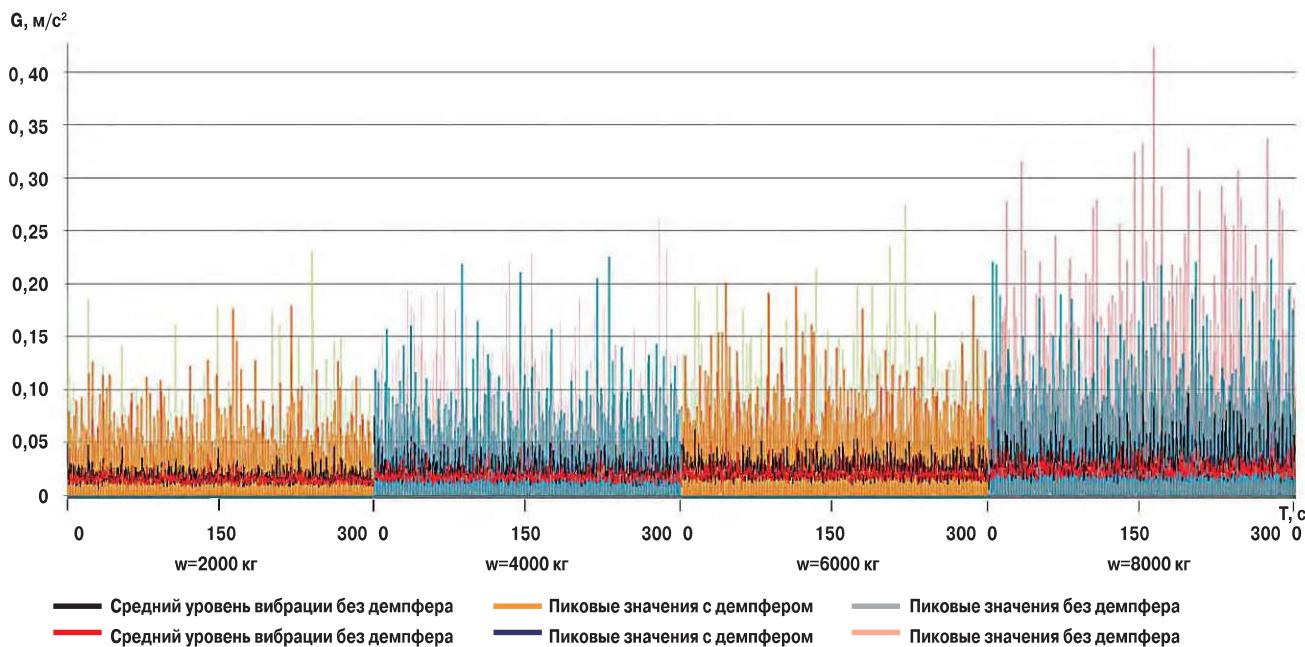


Рис. 3. Замеры осевой вибрации при стендовых испытаниях

Силами отдела породоразрушающего инструмента Центра Разработки ООО НПП «БУРИНТЕХ» был разработан буровой демпфер продольных и крутильных колебаний (заявка на полезную модель от 02.12.2016, рег. № 2016147425).

передаются через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) на ЭВМ, где и происходит расшифровка данных и их сохранение. На рис. 3 показан совмещенный график измерений осевой вибрации с демпфером и без него, при частоте вращения ведущей штанги равной $n=170$ об/мин. и нагрузках $W=2, 4, 6$ и 8 т.

По результатам испытаний было установлено, что средний уровень осевых вибрационных показателей снизился на 20 – 30 процентов, а уменьшение пиковских шоков достигает 60 процентов.

Ввиду небольшой длины штанги станка и отсутствия неравномерности вращения замеры крутильных колебаний при стендовом бурении не дают наглядно-

сти. Поэтому главным критерием эффективности работы демпфера против крутильной вибрации является сохранение вооружения долота. А это можно проверить лишь в условиях реальной скважины в процессе опытно-промышленных отработок.

Для этого были выбраны две скважины Азнакаевского месторождения Республики Татарстан. На скважине 4246Г работа велась с механическим демпфером МД-180.П-117/117, а на скважине 4241Г – без него. Сравниваемые интервалы работ представлены доломитами и известняками верхне-франского горизонта, а также глинами и карбонатными породами мендымского горизонта.

Компоновка с демпфером имела следующий вид: долото БИТ 215, 9 ВТ 616 УЕСВ. 986-01 / ВЗД ДШОТР 178 7/8 с углом перекоса 1,65° / телесистема ЗТС-42 КК. Режим бурения при нагрузке $G=10$ – 14 т, с давлением промывочной жидкости $P=150$ атм. и расходом $Q=33$ л/с. Интервал замера вибрации составил 121 м (1588 – 1709 м).

Компоновка без демпфера: долото БИТ 215, 9 ВТ 616 УЕСВ. 982-01 / ВЗД ДШОТР 178 7/8 с углом перекоса 1,98° / телесистема ЗТС-42 КК. Режим бурения ана-

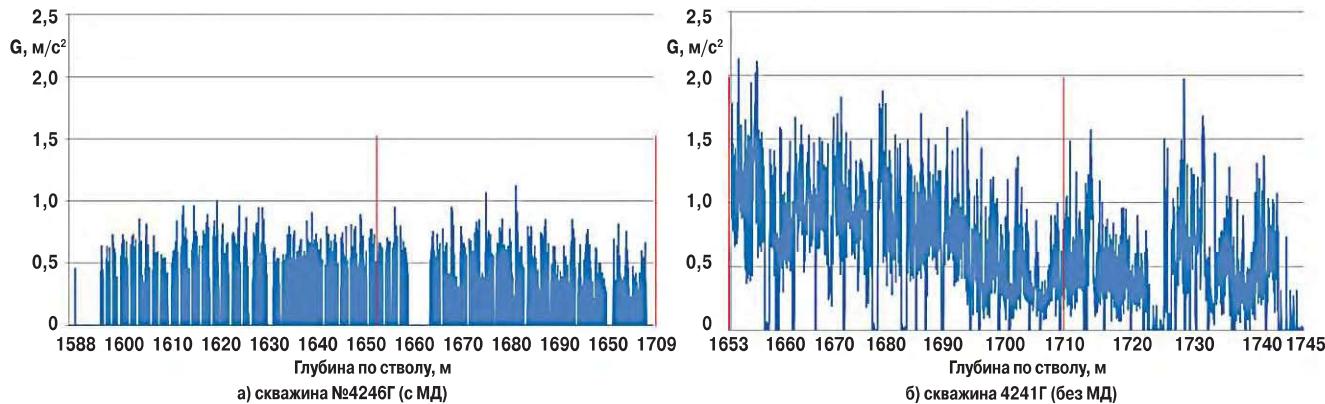


Рис. 4. Замеры осевой вибрации при бурении скважин



**Рис. 5. Состояние вооружения долота, работавшего без МД.
Код износа: 0-1-WT,CN,BT-A-X-IN,RR-BHA**



**Рис. 6. Состояние вооружения долота, работавшего с МД.
Код износа: 0-0-NO-A-X-IN-RR-BHA**

Первый опыт работы демпфера осевых и крутильных колебаний показал целесообразность его применения при установке непосредственно над долотом, при этом не происходит ухудшения управляемости бурильной компоновки. Уменьшение значений осевых колебаний достигает 50 процентов, а сглаживание эффекта stick-slip motion позволяет повысить ресурс вооружения PDC-долота.

логичен работе с демпфером, а сравниваемый интервал равен 92 м (1653 – 1745 м).

При детальном сравнении работы на одинаковых интервалах 1650 – 1710 м, по данным виброканала телесистемы ЗТС-42 КК, можно отметить, что средние значения осевых колебаний при работе с МД-180.П-117/117 находятся в промежутке 0,25 – 0,8 Г, а без МД – 0,75 – 1,5 Г, а пиковые значения на уровне 1,2 Г и 2 Г соответственно. Достигнутый эффект положительно влияет не только на ресурсы породоразрушающего инструмента, но и дорогостоящего наддолотного оборудования в виде ВЗД, телесистемы и пр.

На рис. 5 видно, что резцы активной калибрующей части и плечевой зоны долота, работавшего без демпфера, получили множественные сколы и сломы в результате ударных нагрузок. Важно отметить, что наибольшие повреждения получили именно резцы наружного ряда, чья линейная скорость значительно выше, чем у резцов внутреннего ряда. А на рис. 6 показаны резцы долота с МД-180.П-117/117 в компоновке. По их состоянию можно судить о положительном эффекте сглаживания крутильных шоков демпфером.

Первый опыт работы демпфера осевых и крутильных колебаний показал целесообразность его применения при установке непосредственно над долотом, при этом не происходит ухудшения управляемости бурильной компоновки. Уменьшение значений осевых колебаний достигает 50 процентов, а сгла-

живание эффекта stick-slip motion позволяет повысить ресурс вооружения PDC-долота. Конечно, для определения процентной эффективности требуется провести еще много опытно-промышленных отработок и наработать большую статистическую базу сравнения. Однако первые достигнутые результаты позволяют говорить о том, что задача повышения ресурса долота и наддолотного инструмента может быть решена при помощи применения демпфирующих устройств, в основе которых лежит полимерный упругий материал.

Литература

1. Ишемгузин И.Е., Ямалиев В.У., Ишемгузин Е.И. Диагностирование объектов нефтегазодобычи при случайных колебаниях технологических параметров бурения // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 3. С. 17 – 20.

2. Патент 2124125 РФ. Способ регулирования оптимальной осевой нагрузки на долото при бурении скважин / И.Е. Ишемгузин, В.У. Ямалиев, В.В. Пашинский, Е.И. Ишемгузин, М.Н. Козлов, С.В. Назаров, Э.М. Галеев, А.В. Лягов; МПК6 E21B045/00, E21B044. № 97103910/03; заяв. 12.03.1997; опубл. 27.12.1998. Бюл. № 5.

3. Патент 2335629 РФ. Устройство для оценки состояния породоразрушающего инструмента / В.У. Ямалиев, Т.Р. Салахов, Э.Ш. Имаева; МПК6 E21B44/00. № 2006145009/03; заяв. 18.12.2006; опубл. 10.10.2008. Бюл. № 28.

4. Osnes S.M., Amundsen P.A., Weltzin T., Nyrnes E., Hundstad B.L. and Grindhaug G. MWD Vibration Measurements: A Time for Standardisation. SPE/IADC 119877 presented at SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands, 17 – 19 March 2009.

5. Юнин Е.К. К вопросу предотвращения вибраций бурильной колонны // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2009. № 12. С. 6 – 10.

6. Leine R.I., Van Campen D.H. and Keultjes W.J. Stick-slip Whirl Interaction in Drillstring Dynamics, Journal of Sound and Acoustics. 2002. Vol. 124. Pp. 209 – 220,

7. Aadnoy B.S., Cooper I., Miska S.Z., Mitchell R.F. and Payne M.L. Advanced Drilling and Well Technology. United States of America: Society of Petroleum Engineers, 2009.

Literature

1. Ishemguzhin I.E., Yamaliev V.U., Ishemguzhin E.I. Diagnostics of oil and gas extraction in case of accidental oscillations of drilling technological parameters // Oil and gas business. 2011. V.9. No. 3. Pp. 17 – 20.

2. Patent 2124125 of the Russian Federation. Way to regulate the optimum axial load on the bit during drilling / I.E. Ishemguzhin, V.W. Emaleev, V.V. Pashinsky, I.E. Ishemguzhin, M.N. Kozlov, S.V. Nazarov, E.M. Galeev, A.V. Liagov; MPK6 E21B045/00, E21B044. No. 97103910/03; stated. 12.03.1997; publ. 27.12.1998. Bull. No. 5.

3. Patent 2335629 of the Russian Federation. Device for assessment of rock cutting tool / V.W. Yamaleev, T.R. Salakhov, E.Sh. Imaeva; MPK6 E21B44/00. No. 2006145009/03; stated. 18.12.2006; publ. 10.10.2008. Bull. No. 28.

4. Osnes S.M., Amundsen P.A., Weltzin T., Nyrnes E., Hundstad B.L., Grindhaug G. MWD Vibration Measurements: A Time for Standardisation. SPE/IADC 119877 presented at SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands, 17 – 19 March 2009.

5. Junin E.K. To the question of preventing vibrations of the drill string // Construction of oil and gas wells on land and at sea. 2009. No. 12. Pp. 6 – 10.

6. Leine R.I., Van Campen D.H., Keultjes W.J. Stick-slip Whirl Interaction in Drillstring Dynamics, Journal of Sound and Acoustics. 2002. Vol. 124. Pp. 209 – 220,

7. Aadnoy B.S., Cooper I., Miska S.Z., Mitchell R.F., Payne M.L. Advanced Drilling and Well Technology. United States of America: Society of Petroleum Engineers, 2009.