**Трушкин Олег Борисович. Анализ силовых и энергетических параметров работы породоразрушающих инструментов на базе разработанного автономного цифрового измерительного устройства : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 Уфа, 2006 200 с. РГБ ОД, 61:07-5/27**

**УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**на правах рукописи**

ТРУШКИН Олег Борисович

**АНАЛИЗ СИЛОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА БАЗЕ РАЗРАБОТАННОГО АВТОНОМНОГО ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА**

Специальность 05.02.13 - "Машины, агрегаты и процессы"

(нефтегазовая отрасль)

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук**



**Научный руководитель: кандидат технических наук, с.н.с. Акчурин Х.И.**

**Уфа - 2006**

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение 5

[Глава 1. Актуальность разработки методологических основ оценки эффективности конструкций породоразрушающих инструментов 10](#bookmark4)

1. Процесс бурения и силовые параметры работы колонны бурильных труб и породоразрушающего инструмента 10
2. [Существующие методы и устройства для оценки совершенства конструкций породоразрушающих инструментов по результатам регистрации силовых параметров их работы 17](#bookmark7)
3. Требования к автономному цифровому измерительному устройству и обоснование параметров его механической и электронной частей 26
4. [Выводы 28](#bookmark25)

Глава 2. Тензометрический преобразователь силовых параметров 30

1. [Структурная схема тензопреобразователя 30](#bookmark10)
2. [Обоснование продольных размеров преобразователя 33](#bookmark11)
3. [Схемы наклейки тензорезисторов и соединения их в мосты 35](#bookmark12)
4. Влияние неточности наклейки тензорезисторов на инвариантность

преобразования силовых параметров 44

1. [Выводы 53](#bookmark9)

[Глава 3. Разработка автономного цифрового устройства для измерения, регистрации и анализа четырех силовых параметров породоразрушающего и бурильного инструментов 55](#bookmark26)

1. [Функциональная структура АЦИУ 55](#bookmark27)
2. [Повышение точности измерения силовых параметров методом образцовых мер 58](#bookmark28)
3. [Конструктивная и аппаратная реализация АЦИУ 62](#bookmark33)
4. Градуировка каналов измерения силовых параметров 77
5. [Алгоритмы работы АЦИУ и программы для микроЭВМ, реализующие эти алгоритмы 82](#bookmark39)
6. Частота дискретизации и погрешность восстановления сигнала 89
7. Программы для ПЭВМ, обеспечивающие эксплуатацию АЦИУ 91
8. [Выводы 93](#bookmark55)

Глава 4. Анализ стендовых характеристик некоторых породоразрушающих

инструментов 96

1. Методика проведения экспериментов и обработки результатов регистрации параметров и показателей работы породорзрушающих инструментов 96
2. [Показатели работы долот при стендовом бурении 106](#bookmark46)
3. Крутящий и изгибающий моменты, приведенная поперечная

[сила при работе долот на стенде 114](#bookmark48)

1. [Динамика силовых параметров работы долот при стендовом бурении 125](#bookmark52)
2. Выводы 134

Глава 5. Анализ причин возникновения изгибающего момента при работе

породоразрушающего инструмента 137

* 1. Факторы, определяющие изгибающий момент в некотором сечении над долотом при его работе на забое 137
  2. [Действие изгибающего момента на корпус долота при стендовом бурении 142](#bookmark61)
  3. Действие приведенной поперечной силы на долото относительно забоя скважины 153

1. Выводы 157

161

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ 159

Список использованных источников Приложение 1

Приложение 2 *\** Приложение 3

177

179

186

196

202

Приложение 4 Приложение 5 Приложение 6

*\**

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность проблемы.** В настоящее время в нашей стране более 50% существующих запасов нефти вовлечено в разработку, половина из которых выработана. Вновь вводимые в разработку запасы расположены на значительно больших глубинах по сравнению с разработанными и характеризуются более сложным горно-геологическим строением горизонтов. В этих условиях ставит­ся вопрос об увеличении объемов бурения и улучшении технико- экономиче­ских показателей процесса бурения. Одну из основных ролей в повышении эф­фективности процесса бурения играет породоразрушающий инструмент, конст­рукция которого непрерывно совершенствуется заводами изготовителями.

Оценка эффективности вновь разработанной конструкции породоразру­шающего инструмента, связанная с дорогостоящими и мало информативными промысловыми испытаниями, по которым сложно дать однозначное заключе­ние. При промысловых испытаниях особенно ценной является информация об основных силовых параметрах работы породоразрушающих инструментов: осевой нагрузке, изгибающем и крутящем моментах, причем не только о сред­них значениях этих параметров, но и о их текущих значениях, изменяющихся с частотой до 300 Гц. Из-за несовершенства существующих систем измерения в процессе бурения информации об указанных параметрах не достаточно. Про­блема осложняется еще и тем, что на работу долота оказывают большое не од­нозначное влияние такие условия испытаний, как вид привода, конструкция ни­за бурильной колонны, свойства промывочной жидкости и ряд других факто­ров. Поэтому для устранения такого влияния прибегают к стендовым испыта­ниям, которые с полной базой данных о показателях и параметрах работы доло­та и соответствующим анализом этой базы позволяют оперативно и с мини­мальными затратами оценить эффективность конструкции нового породорзру- шающего инструмента, а при необходимости наметить пути по его совершенст­вованию. Эффективность стендовых испытаний зависит от их методологиче­ских основ. Существующие на сегодняшний день разрозненные элементы таких

основ не позволяют в полной мере воспользоваться возможностями стендовых испытаний.

Исходя из этого актуальными являются разработка и создание автономного измерительного устройства трех силовых параметров работы породоразру­шающих инструментов в скважинном и стендовом вариантах и алгоритм его применения, задача по разработке принципов оценки эффективности конструк­ции и точности изготовления породоразрушающих инструментов.

**Цель работы.** Разработка методологических основ оценки эффективности конструкции и точности изготовления породоразрушающих инструментов на базе измерения и анализа стендовых характеристик долот с помощью автоном­ного цифрового устройства для измерений и регистрации осевой нагрузки, кру­тящего и изгибающего моментов в любом сечении бурильной колонны.

**Основные задачи исследований:**

1. анализ силовых параметров работы бурильной колонны и породоразру­шающих инструментов, существующих конструкций устройств для измерения и регистрации этих параметров, а также разработка требований к автономным измерительным устройствам;
2. разработка автономного устройства для измерений и регистрации сило­вых параметров, обеспечивающего инвариантность измеряемых параметров по отношению друг к другу и к внешним воздействиям, и его конструктивная и аппаратная реализация;
3. разработка программного обеспечения измерений, регистрации и анализа результатов измерений в автоматизированном режиме;
4. разработка новых принципов оценки эффективности конструкции и точ­ности изготовления породоразрушающих инструментов на базе изучения сило­вых и энергетических параметров и показателей работы шарошечных долот и долот, оснащенных алмазно-твердосплавными пластинами (АТП), при стендо­вом бурении с использованием разработанного автономного измерительного устройства и программного обеспечения.

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач использовались: конечно-элементный анализ упругих деформаций, теория электрических цепей, теория инвариантности измеряемых параметров, экспериментальные лабора­торные исследования, теория вероятности и математическая статистика. При разработке программного обеспечения использовались алгоритмические языки Turbo Pascal, Assembler и VBA.

**Научная новизна.**

1. Обосновано и реализовано инвариантное измерение силовых параметров работы долот и показано, что анализ графиков суммарного действия изгибаю­щего момента по секторам долота и забоя, построенных в полярной системе ко­ординат, позволяет оценить оптимальность расположения зубков и резцов на рабочих элементах как шарошечных долот, так и долот, оснащенных АТП, с точки зрения сбалансированности конструкции, а также возможности искрив­ления ствола скважины и формирования некруглого забоя при бурении. Крите­рием оптимальности является форма графика в виде окружности с минималь­ным радиусом и минимальным эксцентриситетом относительно оси долота.
2. Показано, что величина изгибающего момента, действующего в колонне бурильных труб над долотом, при бурении как шарошечными, так и режуще скалывающими с АТП долотами, соизмерима с величиной крутящего момента и его следует учитывать при расчете форм устойчивости низа бурильной ко­лонны и ее центрирования в скважине.
3. Установлено, что при разбуривании пластично-хрупких горных пород как долотами режуще скалывающего действия, оснащенными АТП, так и ша­рошечными, имеет место скачкообразное объемное разрушение породы. Это делает возможным оптимизировать их работу на забое по минимуму энергоем­кости разрушения породы.
4. Экспериментально доказано, что выполнение фаски на режущей кром­ке АТП с целью предупреждения ее выкрашивания не приводит к увеличению энергоемкости разрушения горной породы, а лишь изменяет соотношение меж­ду осевой нагрузкой и крутящим моментом на долоте.

**На защиту выносятся:**

1. требования к автономному цифровому устройству и отдельным его уз­лам для измерения и регистрации силовых параметров работы колонны бу­рильных труб в процессе бурения скважины;
2. тензопреобразователь силовых параметров с математической моделью, обеспечивающий инвариантность силовых параметров по отношению друг к другу и к внешним воздействиям, анализ влияния неточности его изготовления на инвариантность;
3. функциональная структура автономного цифрового устройства силовых параметров в колонне бурильных труб с использованием тестового метода по­вышения точности измерений;
4. конструктивная и аппаратная реализация автономного цифрового изме­рительного устройства (АЦИУ) стендового и забойного вариантов и программ­ное обеспечение их работы и анализа результатов;
5. результаты изучения силовых и энергетических характеристик работы шарошечных долот и долот режуще-скалывающего действия с резцами АТП при стендовом бурении;
6. критерии оценки качества конструкции и технологии изготовления по­родоразрушающих инструментов.

**Практическая ценность работы:**

Созданы АЦИУ забойного и стендового вариантов для измерения и регист­рации силовых параметров в бурильной колонне в процессе бурения, в которых реализованы система компенсации скважинного давления в тензопреобразова- теле, автоматический запуск АЦИУ на забое (патент № 2131974), самотестиро­вание измерительных каналов (патент № 2131973) и программное обеспечение их работы в автономном режиме (свидетельство об официальной регистрации №2003612339). Стендовый вариант внедрен в производство для оценки эффек­тивности конструкции и качества изготовления породоразрушающих инстру­ментов на ОАО "Уралбурмаш" (Приложени 6).

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы докла-

дывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях: XXXXVII-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и моло­дых ученых (Уфа, 1996 г.), 48-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - секции горно-геологическая и автоматизации производственных процессов (Уфа, 1997 г.), второй всероссийской конферен­ции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой про­мышленности России. (Москва, 1997 г.), Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию УГНТУ “Проблемы нефтегазового ком­плекса России”. (Уфа, 1998 г.), третьей всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России, посвященной 70-летию Российского Государственного Университета Нефти и Газа имени И.М. Губкина “Новые технологии в газовой промышлен­ности” (Москва, 1999 г.), Международной научно-технической конференции “Измерения-2000“. Направление 6: "Информационно-измерительные системы в нефтегазовой промышленности". (Пенза, 2000 г.) и доклад на Всероссийской научно-технической конференции “Актуальные проблемы проектирования, производства и эксплуатации изделий машиностроения” (Самара, 2001 г.)

**Публикации по теме диссертации.** Основные материалы диссертации опубликованы в 15 печатных работах, в том числе в двух патентах РФ и одном свидетельстве об официальной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пя­ти глав, основных выводов и результатов, библиографического списка и при­ложений.

Работа изложена на 202 страницах машинописного текста и включает 44 рис., 6 табл., библиографический список из 142 наименований, 6 приложе­ний на 28 страницах.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработаны методологические основы оценки эффективности конструк­ции и точности изготовления породоразрушающих инструментов, включающие созданное в скважинном и стендовом вариантах автономное цифровое измери­тельное устройство, защищенное патентами РФ № 2131973, №2131974, про­граммное обеспечение его работы, (свидетельство об официальной регистрации №2003612339), программное обеспечение обработки результатов измерений, и базирующиеся на анализе осевой нагрузки, крутящего и изгибающего момен­тов, измеренных при бурении породы на стенде.
2. Одним из основных положений разработанных методологических основ является измерение изгибающего момента и расчет положения плоскости его действия относительно корпуса долота и плоскости забоя, а также построение графиков суммарного действия изгибающего момента по секторам долота и за­боя в полярной системе координат, которые позволяют оценивать оптималь­ность расположения элементов вооружения на шарошках или лопастях, воз­можные погрешности изготовления и вероятность формирования долотом не круглого поперечного сечения скважины, а также степень возможного отклоне­ния им ствола от заданного направления. Основным критерием оценки качества конструкции является равномерное распределение суммарного изгибающего момента по периметру долота и минимизация его значений.
3. Стендовое бурение при жестком шпинделе станка и гидравлическом на­гружении выявляет конструктивные и технологические (точность изготовле­ния) причины динамики работы вооружения долот как источника вынужден­ных колебаний колонны бурильных труб. Коэффициенты динамичности всех силовых параметров с увеличением осевой нагрузки снижаются с разной ин­тенсивностью, связанной со скачками разрушения породы. Средние значение коэффициентов динамичности осевой нагрузки для шарошечных долот типа "С" и "СЗ" лежат в диапазоне 1,14... 1,17, а для долот РСА 1,25... 1.39. Средние значения коэффициентов динамичности осевой нагрузки, крутящего и изги­бающего моментов для шарошечных долот находятся в следующем соотноше­нии 1: 1,27:1,59, а для долот РСА 1:1,07:1,36. Эти соотношения могут быть приняты при технологических расчетах условий работы породоразрушающего и бурильного инструментов.
4. Выявлена существенная разница в энергоемкостях разрушения породы однотипными по назначению шарошечными долотами типа "С" и "СЗ", что свидетельствует о наличии резервов как для совершенствования конструкций долот, так и для выбора варианта конструкции в соответствии с конкретными условиями бурения. При бурении долотами режуще скалывающего действия, оснащенными алмазно-твердосплавными пластинами, как с фаской на режущей кромке, так и без фаски, имеет место скачкообразное, объемное разрушение пластично-хрупких пород. Для достижения одинаковой проходки за оборот до­лотом с АТП с фасками, осевую нагрузку на него надо создавать в среднем на 60% выше, чем без фасок.
5. Общей тенденцией для всех долот является рост удельного крутящего момента с увеличением нагрузки на долото. Характерные перегибы на зависи­мостях удельного момента от осевой нагрузки хорошо согласуются со скачка­ми разрушения породы. Среднее значение удельного момента для долот РСА с острыми кромками резцов в 6,9, а с фасками в 4,7 раза выше средних значений для шарошечных долот.
6. Величина изгибающего момента, действующего в колонне бурильных труб над долотом,, при бурении как шарошечными так и режуще скалываю­щими с АТП долотами, соизмерима с величиной крутящего момента по уровню эквивалентных напряжений. Для шарошечных долот типа "С" и "СЗ"отношение изгибающего момента к крутящему лежит в пределах 4,3.. .0,72, а для долот РСА в пределах 2,5.. .0,4, и его следует учитывать при расчете форм устойчи­вости низа бурильной колонны и ее центрирования в скважине.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ источников**

1. А.С. № 1502815 (СССР). Устройство для измерения осевой нагрузки на долото в колонне бурильных труб. Авт. изобрет.: В.П. Дверий. (Е 21 В 45/00), Бюл.№ 31, 23.08.89
2. А.с. 1002444 (СССР). Преобразователь веса бурового инструмента и осевой нагрузки на долото. Авт. изобрет.: Ю.Д.Коловертнов (Е 21 В 45/00), Бюл. № 43, 29.09.85
3. А.С. № 1158747 (СССР). Забойный регистратор осевой нагрузки на долото. Авт. изобрет.: В.М. Ивасив, В.В. Кочуков, М.Г. Абрамсон, В.Ф. Плисак и В.Н. Матвиевский. (Е 21 В 45/00), Бюл. № 20, 30.05.85
4. А.С. № 1170129 (СССР). Забойное устройство для измерения осевой нагрузки. Авт. изобрет.: В.И. Лагутин, Ю.М. Гольдштейн, Л.Е. Голиков и др.

(Е 21 В 45/00), Бюл. № 28, 30.07.85

1. А.С. № 1461882 (СССР). Устройство для контроля параметров процесса бурения. Авт. изобрет.: В.Н. Рукавицын, А.М. Мелик-Шахназаров, Л.И. Орлов и В.Ш. Дубинский. (Е 21 В 45/00), Бюл. № 8, 28.02.89