

УДК 622.24:681.14

## **АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕСА БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА И ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО**

***В.А. Кузнецов, А.В. Прилепин***

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

***Аннотация.** Рассмотрены алгоритмические методы повышения точности измерения веса бурильного инструмента и осевой нагрузки на долото. Показано, что существующие методы измерения этих параметров обладают большими погрешностями измерения, связанными с наличием сил трения в скважине и в талевого системе буровой установки. За счет проведения дополнительных измерений специально сформированных мер, однородных с измеряемыми величинами, удастся скорректировать погрешности измерения. Задачи коррекции погрешностей алгоритмическими методами решаются с помощью микропроцессорной техники.*

***Ключевые слова:** вес бурильного инструмента, осевая нагрузка на долото, методы повышения точности измерения, алгоритмы обработки измерительной информации.*

Вес бурильного инструмента и осевая нагрузка на долото относятся к важнейшим параметрам процесса бурения, во многом определяющим эффективность выполнения технологических операций. Однако используемые в настоящее время гидравлические индикаторы веса (ГИВ) и разработанный НПП «Петролайн-А» контрольно-измерительный комплекс ДЭЛ-140 имеют невысокую точность измерения веса бурильного инструмента, которая к тому же сильно зависит от окружающей температуры, а при смене талевого каната требуется индивидуальная градуировка измерительного устройства. Даже межгосударственный стандарт «Система наземного контроля процесса бурения нефтяных и газовых скважин» (ГОСТ 14169-93) допускает предельную погрешность измерения нагрузки на крюке до  $\pm 11,5\%$  [3].

Невысокая точность измерения веса бурильного инструмента и осевой нагрузки на долото снижает эффективность оптимизации режимов процесса бурения, определения места прихвата бурильного инструмента, автоматизации измерения длины бурильной колонны и глубины скважины.

Появление микропроцессоров, непосредственно встраиваемых в измерительные устройства, позволило по-новому решить задачи повышения точности измерения. Эффективными в этом случае являются алгоритмические методы повышения точности измерения, основанные на получении дополнительной измерительной информации и специальных алгоритмах обработки этой информации [1].

В большинстве случаев вес бурильного инструмента определяется по натя-

---

*Кузнецов Владимир Андреевич (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».*

*Прилепин Артем Валентинович, магистрант.*

жению неподвижного конца талевого каната с помощью гидравлических или электрических измерительных преобразователей. Математическую модель измерительной цепи можно представить выражением

$$N = \frac{K_H}{K_O} (Q \pm T_k \pm T_T) \pm \alpha ,$$

где  $N$  – результат измерения или кодовый сигнал на выходе измерительного преобразователя;

$K_H$  – коэффициент преобразования всей измерительной цепи;

$K_O$  – коэффициент оснастки талевого системы;

$Q$  – вес бурильного инструмента;

$T_k$  – силы трения колонны о стенки скважины;

$T_c$  – силы трения в талевого системе;

$\alpha$  – аддитивная помеха в виде внешних воздействий.

Аддитивной помехой могут быть электромагнитные наводки, возникающие в соединительном кабеле, и дрейф нуля электронных усилителей.

Погрешность измерения веса бурильного инструмента возникает из-за нестабильности коэффициента преобразования измерительной цепи  $K_H$ , действия сил трения  $T_k$  и  $T_c$ , знак которых зависит от направления движения бурильной колонны, и действия аддитивной помехи, включающей в себя нестабильность температуры, параметров талевого каната и электромагнитной наводки.

Из алгоритмических методов повышения точности измерения наиболее эффективными и легко реализуемыми являются метод образцовых мер и тестовые методы.

Метод образцовых мер заключается в проведении дополнительных измерений, при которых на вход измерительного устройства подается образцовая мера, однородная с измеряемой величиной. При измерении веса бурильного инструмента удобно в качестве одной образцовой меры использовать «нулевой вес», например во время «холостых рейсов» талевого системы, когда талевый блок не нагружен. В качестве второй меры используется вес турбобура или вес первой «свечи», которая составлена из утяжеленных бурильных труб, взвешенных заранее с помощью динамометра.

Операции подключения ко входу измерительного устройства образцовых мер выполняются один раз после смены талевого каната.

Алгоритмический метод повышения точности измерения веса бурильного инструмента заключается в следующем.

Первое измерение проводится при ненагруженном талевого блоке ( $Q = 0$ ,  $T_k = 0$ ). Чтобы силы трения были одного знака, измерения выполняются при одном и том же направлении движения талевого блока.

Код результата первого измерения представлен выражением

$$N_1 = \frac{K_H}{K_O} T_T + \alpha .$$

Вторые измерения выполняются при спуске первой свечи или турбобура, вес которых был определен заранее (значение этого веса вносится в память микроконтроллера):

$$N_2 = \frac{K_H}{K_O} (Q_O + T_T) + \alpha ,$$

где  $Q_o$  – образцовый вес.

Значения  $N_1$  и  $N_2$  вводятся в память микроконтроллера.

При необходимости определения веса бурильного инструмента выполняется третье измерение при полностью погруженном талевом блоке:

$$N_3 = \frac{K_H}{K_o} (Q + T_k + T_T) + \alpha.$$

Значения трех измерений  $N_1$ ,  $N_2$  и  $N_3$  обрабатываются микропроцессором по алгоритму

$$N_2 - N_1 = \frac{K_H}{K_o} Q_o,$$

отсюда

$$K_H = \frac{K_o (N_2 - N_1)}{Q_o}; \quad (1)$$

$$N_3 - N_1 = \frac{K_H}{K_o} (Q + T_k).$$

С учетом (1) получим

$$N_3 - N_1 = \frac{N_2 - N_1}{Q_o} (Q + T_k).$$

Из этого выражения находится значение веса бурильного инструмента:

$$Q = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} Q_o + T_k. \quad (2)$$

Измерительное устройство, работающее по алгоритму (2), не требует предварительной калибровки измерительной цепи. Единица измерения веса задается мерой  $Q_o$ , значение которой заносится в память микроконтроллера.

Результат измерения веса бурильного инструмента не зависит от коэффициента преобразования измерительной цепи  $K_H$ , силы трения в талевой системе  $T_C$ , аддитивной помехи  $\alpha$ . Остался один источник погрешности измерения – сила трения колонны о стенки скважины  $T_k$ .

Для уменьшения действия этой силы в упомянутом ранее ГОСТ 14169-93 рекомендуется в процессе измерения медленно проворачивать колонну бурильных труб.

Возможен другой способ уменьшения действия этой силы. В [2] рекомендуется проводить измерение веса при двух направлениях движения бурильной колонны, при которых сила трения войдет в результат измерения с разными знаками. Среднее арифметическое значение этих двух измерений позволяет значительно снизить погрешность из-за трения колонны о стенки скважины.

Осевая нагрузка на долото создается частью веса колонны бурильных труб и определяется как разность начального веса бурильного инструмента  $Q_H$  до начала бурения, когда долото не касается забоя скважины, и веса бурильного инструмента  $Q_i$  в процессе бурения:

$$P = Q_H - Q_t.$$

Для определения осевой нагрузки на долото проводятся еще два измерения. Результат измерения до начала бурения

$$N_4 = \frac{K_H}{K_O} (Q_H - T_k - T_T) + \alpha.$$

Код результата измерения в процессе бурения

$$N_5 = \frac{K_H}{K_O} (Q_t - T_k - T_T) + \alpha.$$

Интервалы измерения выбираются с учетом скорости изменения осевой нагрузки на долото. Она обычно мала и не приводит к динамическим погрешностям измерения.

Обработка измерительной информации ведется по алгоритму

$$N_4 - N_5 = \frac{K_H}{K_O} (Q_H - Q_t) = \frac{K_H}{K_O} P.$$

С учетом (1) получим

$$P = \frac{N_4 - N_5}{N_2 - N_1} Q_O. \quad (3)$$

Измерения осевой нагрузки на долото по алгоритму (3) позволяют полностью исключить все перечисленные выше погрешности измерения.

Погрешность измерения осевой нагрузки на долото определяется точностью задания образцовой меры  $Q_O$  и точностью выполнения вычислительных операций.

Как и при измерении веса бурильного инструмента, при измерении осевой нагрузки на долото не требуется предварительная калибровка измерительного устройства. Калибровка проводится автоматически при введении в память микроконтроллера значения меры  $Q_O$ .

Измерения веса бурильного инструмента  $N_5$  проводятся в процессе бурения дискретно через определенные интервалы времени. Период дискретизации определяется по динамическим характеристикам осевой нагрузки на долото.

Осевая нагрузка на долото может быть измерена с помощью косвенной меры.

Если верхний конец бурильной колонны опустить на величину  $\Delta l$ , то на основании закона Гука осевая нагрузка возрастет на величину

$$\Delta P = \frac{EF}{L} \Delta l,$$

где  $E$  – модуль упругости материала труб;  
 $F$  – площадь поперечного сечения труб;  
 $L$  – длина колонны бурильных труб.

Алгоритм коррекции погрешностей заключается в следующем.

Код первого измерения определяется выражением

$$N_1 = \frac{K_H}{K_O} (Q_H - T_k - T_T) + \alpha .$$

В процессе бурения устанавливается осевая нагрузка на долото  $P_1$ , несколько меньшая заданного значения, и проводится второе измерение:

$$N_2 = \frac{K_H}{K_O} (Q_H - P_1 - T_k - T_T) + \alpha .$$

Затем осевая нагрузка доводится до заданного значения  $P$ , проводится третье измерение веса и одновременно измерение перемещения верхнего конца буровой колонны  $\Delta l$ :

$$N_3 = \frac{K_H}{K_O} (Q_H - P - T_k - T_T) + \alpha .$$

Полученная система этих трех уравнений решается относительно  $P$ :

$$P = \frac{N_1 - N_3}{N_2 - N_3} \Delta P = \frac{N_1 - N_3}{N_2 - N_3} \frac{EF}{L} \Delta l . \quad (4)$$

Точность косвенного измерения осевой нагрузки на долото по алгоритму (4) зависит от точности измерения перемещения верхнего конца буровой колонны  $\Delta l$ , точности задания параметров колонны  $E$ ,  $F$ ,  $L$  и точности вычислительных операций.

Рассмотренные алгоритмические методы повышения точности измерений позволяют, используя существующие гидравлические и электрические измерительные преобразователи веса бурового инструмента, не отличающиеся высокой точностью, повысить точность измерения за счет проведения дополнительных измерений и обработки измерительной информации по специальным алгоритмам. Современная микропроцессорная техника позволяет решать эти задачи с высокой эффективностью.

Погрешность косвенных измерений определяется точностью выполнения вычислительных операций и числом разрядов аналого-цифровых преобразователей. Современная измерительная аппаратура имеет высокие метрологические характеристики, поэтому влияние их на погрешность косвенных измерений не учитывается.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов В.А. Методы повышения помехоустойчивости и точности средств измерений: учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 68 с.
2. Александров М.М. Взаимодействие колонн труб со стенками скважины. – М.: Недра, 1982. – 144 с.
3. Алиев Т.М. и др. Информационные системы в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1972. – 240 с.

*Статья поступила в редакцию 22 февраля 2018 г.*

## ALGORITHMIC METHODS FOR IMPROVING ACCURACY OF DRILLING INSTRUMENT WEIGHT AND AXIAL LOAD ON BIT

*V.A. Kuznetsov, A.V. Prilepin*

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

***Abstract.** Algorithmic methods for improving accuracy of drilling instrument weight and axial load on bit were considered in this article. Existing measuring methods have bigger inaccuracy because of friction forces in well and drilling line system. Inaccuracies of measurements are adjusted by additional measurements of specially formed measures as uniform as measuring quantities. The problems of adjustment of inaccuracies are solved by microprocessor.*

***Keyword:** drilling instrument weight, axial load on bit, methods for improving accuracy, algorithms for processing measurement information.*

---

*Vladimir A. Kuznetsov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Artem V. Prilepin, Graduate Student.*