Тимофеев А.О.
Timofeev A.O.

ассистент кафедры информационно-измерительной техники ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, Российская Федерация

Ясовеев В.Х.
Yasoveev V.Kh.

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-измерительной техники, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, Российская Федерация

УДК 621.3.083

DOI:

БЕСПРОВОДНОЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ШТОКА СКВАЖИННОЙ ШТАНГОВОЙ ГЛУБИННОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Современное развитие технической диагностики состояния скважинных штанговых насосных установок (СШНУ) является одним из важнейших компонентов автоматизированных систем диагностики и управления процессом нефтедобычи. Системы диагностики и управления позволяют добиться не только снижения удельной себестоимости нефтедобычи, но и повысить надежность и ремонтпригодность установок в целом.

Одним из направлений диагностики является динамометрирование – получение значений механических нагрузок, приложенных к балансиру станка-качалки, в зависимости от местоположения штока станка-качалки. Такие значения формируют в виде динамограмм и проводят их анализ по существующим методикам.

Главным компонентом для определения местоположения штока станка-качалки является датчик положения штока станка-качалки. Климатические и технологические особенности применения датчиков положения обуславливают требования к конструкции, герметичности, автономности и сроку службы таких датчиков. В статье рассматриваются возможные типы первичных преобразователей, их достоинства и недостатки. Также приводится обоснование выбора типов первичных преобразователей, на основе которых разработана конструкция представленного датчика. Далее рассматриваются варианты размещения датчика на станке-качалке, их преимущества и недостатки, а также описываются типовые способы определения положения с учетом их недостатков.

В статье описана предлагаемая конструкция датчика положения, выполненного на основе магниторезистивного датчика, показаны её достоинства и преимущества по сравнению с существующими типовыми датчиками, описан выбор наиболее подходящей интегральной микросхемы для реализации первичного преобразователя. Наряду с этим, в статье рассмотрены физические особенности применения магниторезистивных датчиков, их погрешности и чувствительность первичного преобразователя в зависимости от изменения величины внешнего магнитного поля, создаваемого перемещаемым постоянным магнитом.

Таким образом, представлен обоснованный выбор типа первичного преобразователя датчика положения, его конструкция и техническая реализация, описана зависимость выходного напряжения микросхемы от величины внешнего магнитного поля, а также погрешность и чувствительность первичного преобразователя выбранного типа. Представленный датчик может быть использован для определения положения штока СШНУ с учетом вышеуказанных требований.

Ключевые слова: динамометрирование, датчик положения, скважинная штанговая насосная установка, магниторезистивные преобразователи, бесконтактные датчики перемещения.

WIRELESS CONTACTLESS SENSOR STOCK PALACES WELL ROD DEEP-PUMP INSTALLATION

Modern development of technical diagnostics of the downhole sucker rod pumping units (DSRPU) is one of the major components of the automatic diagnostics and oil production process control systems. The systems for diagnostics and control may not only produce a reduction of oil production cost, but also improve the reliability and maintainability of the systems in a whole.

One of the areas of diagnosis is dynamometer carding – obtaining mechanical load values applied to the horsehead of the sucker rod pump, depending on the location of the rod pumping unit. Such values are formed in a dynamometer card and are conducted by developed techniques.

The main component for positioning the sucker rod pumping beam is a beam position sensor. Climatic and technological features of position sensors implementation affect the design, integrity, autonomy and durability requirements of such sensors. This article focuses on the possible types of displacement detection transducers, its advantages and disadvantages. The substantiation of selection of primary converter types on which basis the design of the developed sensor is also given. Next, the sensor placement options are described on the beam unit, its advantages and disadvantages, typical methods for determining the position with regard to their deficiencies are also set out.

The article figures out the proposed structure of the position sensor based on the basis of the magnetoresistive sensor, shows its benefits and advantages compared to existing types of sensors, describes selection of the most suitable for integrated circuit implementation of primary transducer. Along with this, the article discusses the physical features of the application of magnetoresistive sensors, accuracy and sensitivity of the primary converter from the external magnetic field change created by the permanent magnet motion.

Thus, a reasonable choice of primary transducer type for position sensor design is represented, the design and technical implementation is described, the dependence of output voltage from the external magnetic field, sensitivity and accuracy of the primary transducer are given. The represented sensor can be used to determine the position of the sucker rod of DSRPU in accordance with the requirements.

Key words: dynamometer carding, downhole sucker rod pumping unit, beam unit, magnetoresistive transducers, wireless displacement sensors.

Получение достоверной информации в реальном времени о состоянии скважинной штанговой глубиннонасосной установки (СШНУ) является одним из ключевых условий её эффективного функционирования. Так, построение информационно-измерительных систем, использующих автономные датчики, является одним из направлений развития автоматизированных систем управления процессами нефтедобычи [1]. В частности, для диагностирования

неуравновешенности станка-качалки СШНУ используется специализированная информационно-измерительная система (ИИС), структурная схема которой приведена на рисунке 1 [2].

Рисунок 1. Структурная схема ИИС для диагностики неуравновешенности станка-качалки СШНУ

Одним из основных компонентов данной системы является датчик положения, который позволяет фиксировать перемещение штока станка-качалки.

В настоящее время существует тенденция к уменьшению массогабаритных показателей датчиков – современные технологии позволяют использовать множество датчиков в микроминиатюрном исполнении (влажности, давления, температуры, ускорения). Данная статья рассматривает создание беспроводного бесконтактного датчика положения, выполненного на основе интегрального магниторезистивного преобразователя.

Среди наиболее информативных способов получения информации о состоянии СШНУ выделяют динамометрирование и ваттметрирование. Динамометрирование позволяет оценить состояние подземного оборудования СШНУ, в то время как ваттметрирование направлено главным образом на диагностику наземного оборудования СШНУ [2]. Характерной особенностью ваттметрирования является определение энергетических параметров наземного оборудования путем анализа электрических характеристик (напряжения, тока и мощности) в цепи электрооборудования. На основе данных параметров можно сделать вывод об эффективности ШСНУ в целом.

Для построения ваттметрограмм и динамограмм требуется определение параметров движения установки ШГН, которые включают в себя длину хода, частоту и период

качаний, моменты прохождения штоком нижней и верхней мертвых точек. Для определения этих параметров применяются различные устройства: датчики угла наклона, концевые выключатели, потенциометрические датчики, бесконтактные датчики положения, линейные акселерометры [3, 4].

Для обоснования выбора датчиков положения сформулируем требования к таким датчикам. Во-первых, датчик должен иметь высоконадежную конструкцию: иметь прочный корпус с минимумом сочленений, не иметь проводных соединений, быть герметичным. Во-вторых, датчик не должен требовать специальной настройки, а срок его службы должен быть не менее трёх лет.

С учетом предъявляемых требований, рассмотрим возможные варианты бесконтактных датчиков положения. Достоинством оптических датчиков является высокая точность. Их недостатком является невозможность работы в загрязненных условиях, высокое энергопотребление. Достоинством ультразвукового датчика является большой диапазон измерения, но недостатком является высокое энергопотребление. Достоинством вихретоковых и магнито-стрикционных датчиков является высокая точность измерения. Их недостатком является сложность обеспечения высоконадежной конструкции. Достоинством датчиков индуктивного типа является большой диапазон измерения, однако недостатком является высокое энергопотребление и большие мас-

согабариты. К достоинству акселерометров можно отнести большой диапазон и высокую точность измерения. Их существенным недостатком является низкая чувствительность к малым значениям перемещения. Достоинством датчиков типа на основе эффекта Холла является небольшое энергопотребление и массогабариты, а также высокая точность. Их недостатком является необходимость компенсации температурного дрейфа. Достоинством магниторезистивных датчиков является небольшое энергопотребление и массогабариты, высокая точность; их недостатком является необходимость компенсации температурного дрейфа.

Исходя из вышеизложенного, для создания бесконтактного датчика положения целесообразно применение следующих типов датчиков: датчик Холла, магниторезистив-

ный датчик. Требования, предъявляемые к такому датчику, следующие: датчик должен работать при температуре окружающего воздуха от -45 до $+50$ °С, иметь срок службы не менее 5 лет, потреблять не более 0,3 Вт, иметь массу не более 1 кг, иметь диапазон измерения от 0 до 10 м с погрешностью не более 0,5 % [5].

Конструкция датчика положения обуславливается как местом размещения, так и требованиями к метрологическим, эксплуатационным и другим характеристикам. Применяемые в настоящее время датчики положения балансира станка-качалки (герконы и датчики Холла) располагают на выходном валу редуктора (см. рис. 2). Указанное расположение датчиков определяется прежде всего доступностью укладки проводов от них.

Рисунок 2. Расположение датчиков положения, а – место установки датчиков Холла

Типовая схема устройства определения положения в этом случае состоит из датчика положения, расположенного на неподвижной основе, и постоянного магнита, закрепленного на валу редуктора электродвигателя. Сам способ определения параметров движения заключается в определении количества оборотов вала редуктора, на основании которых определяется количество циклов качания. Описанный способ имеет следующие недостатки:

1) устройство определения положения, выполненное на герконе или датчике Холла, требует точной настройки (должно быть точное совмещение датчика и магнита с минимальным зазором между ними), которая может быть нарушена при проведении ремонтных работ или при сильных вибрациях;

2) описанный способ имеет ограниченную область применения: для применения на станках-качалках других типов требуется дополнительная информация о взаиморасположении между углом поворота вала редуктора и подвесом штанг.

На основании приведенного анализа авторами был разработан магниторезистивный датчик перемещения, лишенный вышеперечисленных недостатков.

Конструкция устройства определения положения

Устройство определения положения состоит из датчика положения, расположенного на подвесе станка-качалки, и постоянного магнита, установленного на полированный шток станка-качалки (см. рис. 3).

Рисунок 3. Расположение магниторезистивного датчика перемещения (а) и постоянного магнита (б)

Магниторезистивный датчик положения представляет собой плату с электронными радиоизделиями (ЭРИ), помещенную в корпус из немагнитного материала (пластик).

Преимуществами датчика такой конструкции являются: отсутствие влияния расстояния от магнита до датчика, отсутствие влияния магнитного дрейфа, повышенный диапазон рабочих температур ($-50 \dots 145^\circ\text{C}$),

результаты измерения датчиками напрямую зависят от направления поля, но не от его интенсивности.

В качестве первичного преобразователя используется интегральная микросхема (ИМС) HMC5883L, представляющая собой высокочувствительный трёхосевой компас с цифровым интерфейсом I2C.

Рисунок 4. Фотография устройства с микросхемой HMC5883L

Выходное напряжение микросхемы (V_o) определяется в соответствии с выражением:

$$V_o = V_s \cdot S \cdot \sin(2\theta), \quad (1)$$

где V_s – напряжение источника питания; S – постоянная, зависящая от рода материала; θ – угол между током и вектором намагниченности.

Рисунок 5. Форма выходного сигнала с датчика перемещения в зависимости от значения угла поворота θ

В зависимости от величины внешнего магнитного поля сопротивление чувствительного элемента магниторезистивного датчика определяется из выражения:

$$R = R_0 + \Delta R \cdot \cos^2 \theta, \quad (2)$$

где R_0 – сопротивление чувствительного элемента в отсутствие поля; ΔR – изменение сопротивления во внешнем поле; θ – угол между током и вектором намагниченности.

Форма выходного сигнала при измерении перемещения эталонного магнита показана на рисунке 6.

Рисунок 6. Форма выходного сигнала с датчика перемещения в зависимости от значения линейного перемещения L

Выводы

Таким образом, обоснован выбор магниторезистивного датчика в качестве первичного преобразователя положения, описана конструкция устройства определения положения, и выбрана наиболее подходящая микросхема (НМС5883L), которая является основой разрабатываемого датчика.

Список литературы

1. Тимофеев А.О., Ясовеев В.Х. Автономный датчик усилия системы динамометрирования штанговой скважинной глубиннонасосной установки // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19 – № 4 (70). – С. 34-39.
2. Патент РФ № 2016103551, 03.02.2016. Способ определения неуравновешенности станка-качалки скважинной штанговой насосной установки // Патент России № 2621435. 2016. Бюл. № 16. / Тимофеев А.О., Ясовеев В.Х.
3. Тахавудинов Ш.Ф. и др. Обработка практических динамограмм на ПЭВМ. – Казань: Новое Знание, 1997. – 76 с.
4. Чаронов В.Я. Автоматизация работы основного оборудования и проблемы энергосбережения на объектах нефтегазодобычи / В.Я. Чаронов. – Альметьевск: Татнефть, 1998. – С. 20-26.
5. Гудинаф Ф. Интегральные акселерометры // Электроника. – 1993. – № 7-8. – С. 50-57.
6. McCoy. Method and apparatus for measuring pumping rod position and other aspects of a pumping system by use of an

accelerometer Pat. USA № 5406482, pr. 11.04.95.

7. Doscher J. Accelerometer Design and Applications. Analog Devices. – 1998.

References

1. Timofeev A.O., Jasoveev V.H. Avtonomnyj datchik usilija sistemy dinamometrirovaniya shtangovoj skvazhinnoj glubinnonasosnoj ustanovki // Vestnik UGATU. – 2015. – Т. 19 – № 4 (70). – P. 34-39.
2. Patent RF № 2016103551, 03.02.2016. Sposob opredelenija neuravnoveshennosti stanka-kachalki skvazhinnoj shtangovoj nasosnoj ustanovki // Patent Rossii № 2621435. 2016. Bjul. № 16. / Timofeev A.O., Jasoveev V.H.
3. Tahautdinov Sh.F. i dr. Obrabotka prakticheskikh dinamogramm na PJeVM. – Kazan': Novoe Znanie, 1997. – 76 p.
4. Charonov V.Ja. Avtomatizacija raboty osnovnogo oborudovaniya i problemy energosberezheniya na ob'ektah neftegazodobychi. – Al'met'evsk: Tatneft', 1998. – P. 20-26.
5. Gudinaf F. Integral'nye akselerometry // Elektronika. – 1993. – № 7-8. – P. 50-57.
6. McCoy. Method and apparatus for measuring pumping rod position and other aspects of a pumping system by use of an accelerometer. Pat. USA № 5406482, pr. 11.04.95.
7. Doscher J. Accelerometer Design and Applications. Analog Devices. – 1998.