

РАЗДЕЛ III. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

7. Ушеренко А.А., Юрченко В.И. Автоматизированная контрольно-измерительная аппаратура для технологического контроля. // Электронная промышленность –1993. – № 9. – С. 50–53.
8. Yurchenko A.V G.E. Lapatin High-express micro-wave frequencies-methods of measuring the distribution of specific resistance and existence of polysilicon Proceedings of 23st European PV Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia 1-5 September 2008, pp. 1840-1843
9. Юрченко А.В., Лапатин Л.Г., Новиков А.В. Бесконтактный локальный метод измерения удельного сопротивления, времени жизни неравновесных носителей заряда в мультикремнии. Известия ТПУ т.314.№2. в печати.
10. Воторопин С.Д., Юрченко А.В., Юрченко В.И., Чихман А.В., Крылов С.В., Мызгин В.С. Автоматизированная установка на основе автодинных датчиков КВЧ диапазона для контроля материалов // Электронная промышленность. – 1998. – Вып. 1-2. – С.136 – 137.
11. Юрченко А.В., Юрченко В.И., Воторопин С.Д. Автодинные датчики в измерительной технике. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2009. – 128 с.
12. Юрченко А.В., Воторопин С.Д., Юрченко В.И. Установка для визуализации и определения мест расположений дефектов в солнечных элементах на основе автодинных датчиков 5 – миллиметрового диапазона длин волн // VIII-я Крымская Междунар. Микроволновая Конф. “КрыМиКо’98”. Труды конф.. – Севастополь. – сентябрь 1998.
13. Бондаренко И.Н., Гордиенко Ю.Е., Ларкин С.Ю. Системы формирования информационных сигналов в резонаторной микроволновой микроскопии // 19-я Междунар. конф. «КрыМиКо-2009»: Сб. докл. (Севастополь, сентябрь 2009 г.) – Севастополь, 2009 – С. 563–564
14. Новиков А.И., Юрченко А.В., Юрченко В.И. Моделирование локальности определения удельного сопротивления кремния. Сб. труд. 2 ой межд. научно - практ. конф. «Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений» г. Томск 23-25 ноября 2010 г. С.250-251.

А.Н. Новиков, аспирант, ГОУ ВПО НИ ТПУ, e-mail: an-novikov@inbox.ru. А.В. Юрченко, профессор, д.т.н., ГОУ ВПО НИ ТПУ, e-mail: niipp@inbox.ru.

УДК 531.717.86

БЕСКОНТАКТНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ С БЕСПРОВОДНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Д.В. Алимов, Д.В. Вахрушев, А.Е. Гольдштейн, Е.В. Якимов

В работе описан новый модернизированный вариант системы контроля соосности сварных соединений бурильных труб с беспроводным соединением с измерительным блоком. Предложена конструкция взаимноиндуктивного преобразователя расстояния до поверхности трубы.

Ключевые слова: бурильные трубы, приваренные замки, соосность, система контроля, взаимноиндуктивный преобразователь.

Ведущее место в обширной номенклатуре бурильных труб занимают трубы стальные с приваренными замками. Конструктивно такие трубы состоят из трех элементов: тела трубы и двух замков – муфты и ниппеля, приваренных к телу трубы методом сварки трением. Важной характеристикой сварных соединений бурильных труб, в значительной мере определяющей трудоемкость и точность бурения, срок службы бурового оборудования является соосность приваренных замков и тела трубы.

В соответствии с [1] контроль соосности заключается в измерении при вращении трубы радиальных биений замковой части трубы относительно оси тела бурильной трубы в двух сечениях, первое из которых расположено вблизи сварного соединения, а второе –

вблизи торца замковой части трубы. Параллельное a_1 , мм и угловое a_2 , мм/100мм отклонения от соосности определяются по формулам:

$$a_1 = \frac{\delta_1}{2}, \quad a_2 = \frac{\delta_2 - \delta_1}{2 \cdot L} \cdot 100 \quad (1)$$

где δ_1 – биение в сечении 1, мм; δ_2 – биение в сечении 2, мм; L – расстояние между сечениями, мм.

В целях автоматизации процесса измерения соосности на кафедре информационно-измерительной техники ТПУ разработана система контроля соосности СКС 10.02 [2]. В производственных условиях система контроля устанавливается на линии изготовления бурильных труб на участках сварки трением, температурного отпуска сварного соедине-

БЕСКОНТАКТНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ С БЕСПРОВОДНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

ния, технического контроля готовой продукции.

Основными функциями системы контроля являются измерение значений параллельного и углового отклонений от соосности сварного соединения, сравнение их с предельно допустимыми, а также индикация, хранение и передача в информационную сеть результатов измерения и контроля.

Двухлетний период успешной эксплуатации системы контроля в трубном цехе ОАО «Завод бурового оборудования» (г. Оренбург) подтвердил ее высокие технические характеристики, однако выявил и необходимость дальнейшей модернизации системы с целью повышения надежности и удобства проведения операций контроля.

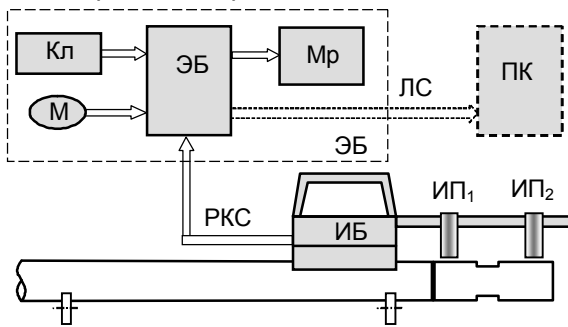


Рисунок 1 – Структурная схема системы контроля соосности СКС-04

Постановка задачи

Основными направлениями модернизации системы контроля являлись замена кабеля связи измерительного и электронного блоков системы контроля на беспроводный интерфейс (радиоканал), а также замена контактных преобразователей биений трубы (цифровых индикаторов часового типа) на бесконтактные магнитные взаимдуктивные измерительные преобразователи.

Описание метода и средств контроля

На рисунке 1 приведена структурная схема модернизированной системы контроля соосности СКС-04. Система контроля содержит два основных блока: измерительный блок (ИБ) с установленными на нем взаимдуктивными преобразователями расстояния до поверхности трубы (ИП1 и ИП2) и электронный блок (ЭБ) с подключенными к нему периферийными устройствами – монитором (Мр), клавиатурой (Кл) и мышью (М). Измерительный и электронный блоки соединены между собой радиоканалом связи (РКС).

Измерение отклонений от соосности осуществляется следующим образом. Измерительный блок устанавливается на контролируемую буровую трубу в месте стыка тела трубы и ее замковой части. В процессе

измерения осуществляется вращение трубы на ножевых вращающихся опорах. Измерительный блок при вращении трубы удерживается на месте, но остается в постоянном контакте с поверхностью тела трубы через опорные подшипники.

Выходной сигнал взаимдуктивного преобразователя x определяется в этом случае суммой начального показания x_0 , которое определяется начальным расстоянием (зазором) между преобразователем и поверхностью трубы до начала вращения трубы и приращения Δx , обусловленного изменением расстояния между преобразователем и поверхностью трубы вследствие возможной несоосности замковой части трубы относительно оси тела трубы.

Выходные сигналы первого и второго преобразователей x_1 и x_2 преобразуются контроллером измерительного блока в форму, пригодную для передачи по радиоканалу связи (РКС) на вход электронного блока ЭБ.

В электронном блоке, основой которого является персональный компьютер (ПК) с периферийными устройствами, осуществляется запись массивов значений сигналов x_1 и x_2 , соответствующих различным углам поворота контролируемой трубы в диапазоне от 0° до 360° , и определение минимальных $x_{1\min}$ и $x_{2\min}$ и максимальных $x_{1\max}$ и $x_{2\max}$ значений сигналов из этих массивов.

Значения радиальных биений в первом и втором сечениях замковой части трубы δ_1 и δ_2 определяются следующим образом:

$$\delta_1 = x_{1\max} - x_{1\min}, \quad \delta_2 = x_{2\max} - x_{2\min} \quad (2)$$

Далее производится вычисление значений параллельного a_1 и углового a_2 , отклонений от соосности по формулам (1) и сравнение полученных значений с предельно допустимыми.

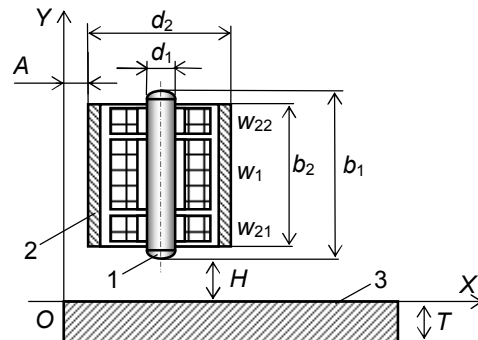


Рисунок 2 – Конструкция взаимдуктивного преобразователя

Результаты контроля заносятся в электронный протокол контроля, выводятся на индикаторную панель, а также передаются по

РАЗДЕЛ III. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

локальной сети ЛС на персональный компьютер диспетчера.

Для обработки сигналов измерительной информации, ее хранения и визуализации, осуществляемых в электронном блоке, использованы те же программа и пользовательский интерфейс оператора, что и в системе контроля СКС 10.02 [2].

Как было отмечено ранее, одним из направлений модернизации системы контроля являлась замена проводной связи измерительного и электронного блоков беспроводной. Выбор технологии беспроводной связи был сделан в пользу спецификации Bluetooth. Использование Bluetooth позволяет избавиться от разработки устройства сопряжения на стороне ПК, т.к. в настоящее время такое устройство можно приобрести, оно достаточно распространено и дешево. Так же готовые модули беспроводной связи Bluetooth имеют аппаратную реализацию защиты от помех, малое потребление, большой набор программных средств и документации для разработки программного обеспечения, как на ПК, так и на стороне связываемого с ним устройства.

В качестве Bluetooth модуля был выбран модуль WT12, который имеет встроенный контроллер, позволяющий произвести настройку модуля один раз и пользоваться им в запрограммированном «Профиле» (режиме). В системе контроля модуль Bluetooth программируется для использования его в режиме Serial Port Profile (SPP) — эмулирует последовательный порт, предоставляя возможность замены стандартного RS-232 беспроводным соединением. Радиус действия используемого модуля составляет 15–20 м.

Другим направлением модернизации системы контроля являлась замена контактных преобразователей биений трубы в электрический сигнал на бесконтактные взаимноиндуктивные измерительные преобразователи, погрешность преобразования которых в значительной мере определяет погрешность измерения отклонений от соосности. На рисунке 2 схематично показана конструкция используемого взаимноиндуктивного преобразователя.

Составными элементами взаимноиндуктивного преобразователя являются обмотка возбуждения w_1 , измерительная обмотка с двумя встречно включенными секциями w_{21} и w_{22} , а также ферромагнитный сердечник 1 и ферромагнитный цилиндрический экран 2, образующие магнитную цепь преобразователя. Практически неиспользуемый в аналогичных по назначению и конструкции преобразователях магнитных толщиномеров цилиндри-

ческий экран необходим в данном случае для исключения влияния находящихся в окружении преобразователя металлических деталей (например, элементов крепления).

В отсутствие вблизи преобразователя ферромагнитных объектов выходное напряжение измерительной обмотки равно нулю, что обусловлено равенством по модулю потокоцепления магнитного поля обмотки возбуждения и встречно включенных секций измерительной обмотки.

При наличии вблизи торцевой части преобразователя ферромагнитного объекта $З$ происходит перераспределение магнитных потоков через секции измерительной обмотки, что приводит к появлению напряжения разбаланса (вносимого напряжения) U_2 измерительной обмотки. Это напряжение функционально связано с расстоянием H до поверхности объекта нелинейной функцией преобразования $U_2(H)$. Степень нелинейности функции преобразования определяется конструктивными параметрами преобразователя.

Другим фактором, влияющим на значение напряжения U_2 , является расстояние A до края ферромагнитного объекта (рисунок 2). Существенное влияние данного фактора при использовании предлагаемого преобразователя для контроля соосности обусловлено конструктивными особенностями замковой части бурильной трубы, заключающимися в относительно малом расстоянии от торца замка до прорезей под ключ и, следовательно, в необходимости проведения контроля в условиях потенциально возможного проявления краевого эффекта.

В соответствии с вышесказанным, основными критериями при выборе конструктивных параметров взаимноиндуктивного преобразователя – длины и диаметра сердечника b_1 и d_1 , длины и диаметра экрана b_2 и d_2 , диаметра среднего витка обмоток d_0 , являлись степень нелинейности функции преобразования $U_2(H)$ и степень влияния на результат преобразования расстояния преобразователя до края объекта.

Математическое моделирование

Для анализа влияния на функцию преобразования основных факторов был использован пакет моделирования COMSOL Multiphysics, позволяющий решать задачи, в том числе, из области электромагнетизма путем численного решения уравнений в частных производных методом конечных элементов. Построенная трехмерная модель преобразователя позволила осуществить анализ влияния на его функцию преобразования, как основных конструктивных параметров, так и

БЕСКОНТАКТНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ С БЕСПРОВОДНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

оценить влияние на результаты преобразования краевого эффекта.

моделирований отличаются незначительно. Некоторое их расхождение обусловлено недостаточно качественной стабилизацией при эксперименте тока возбуждения.

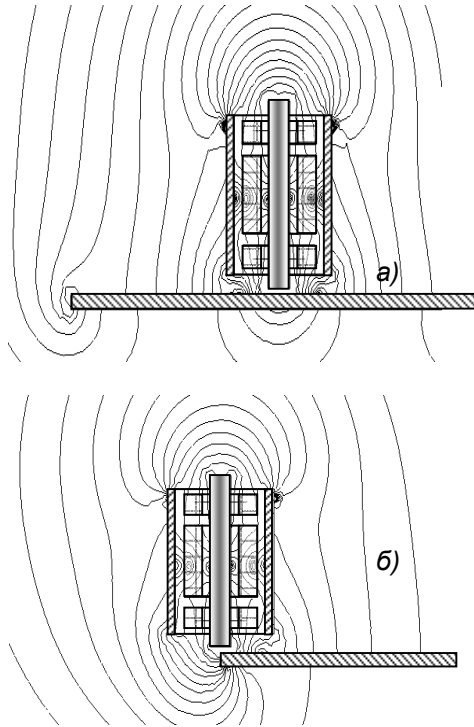


Рисунок 3 – Линии одинаковой индукции магнитного поля взаимоиндуктивного преобразователя при взаимодействии с плоским объектом при удалении от края объекта (а) и вблизи края (б)

В качестве примера на рисунке 3 показана рассчитанная с помощью COMSOL топография магнитного поля преобразователя при взаимодействии с плоским объектом при удалении от края объекта и вблизи края.

На рисунке 4 приведены результаты моделирования влияния на функцию преобразования цилиндрического экрана. Здесь представлены зависимости вносимого объектом относительного изменения выходного напряжения ΔU_2^* (нормированного по значению начального напряжения одной секции измерительной обмотки) от расстояния H до поверхности объекта при отсутствии экрана (кривая 1) и при наличии экрана (кривая 2). Для второго случая построена также экспериментальная зависимость (кривая 3). Анализ этих результатов показывает, что наличие экрана приводит к некоторому увеличению степени нелинейности функции преобразования, но это увеличение может быть минимизировано уменьшением длины экрана по сравнению с длиной сердечника на (15÷20)%. Результаты математического и физического

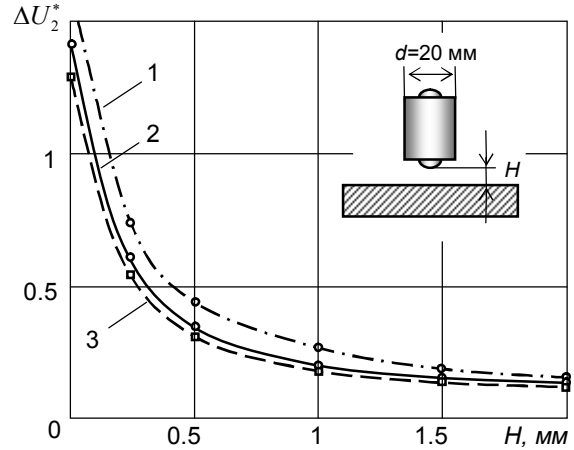


Рисунок 4 – Зависимость относительного вносимого напряжения преобразователя от расстояния до поверхности объекта

На рисунке 5 приведены результаты моделирования краевого эффекта. Здесь представлены зависимости относительного вносимого напряжения ΔU_2^* от расстояния A до поверхности объекта при отсутствии экрана (кривая 1) и при наличии экрана (кривая 2). Анализ этих результатов показывает, что для используемой конструкции преобразователя краевой эффект проявляется незначительно даже при установке преобразователя на самый край объекта. Влияние экрана на характер зависимости $\Delta U_2^*(A)$ незначительно.

Анализ других полученных математическим моделированием результатов показал, что оптимальные соотношения конструктивных параметров преобразователя следующие:

$$b_1 = (1,5 \div 2,5) d_o; \quad d_1 = (0,3 \div 0,4) d_o; \\ b_2 = (0,75 \div 0,85) b_1; \quad d_2 = (1,8 \div 2) d_o \quad (3)$$

Заключение

Использование результатов описанных в работе исследований позволило существенно повысить эксплуатационные характеристики системы контроля соосности.

РАЗДЕЛ III. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

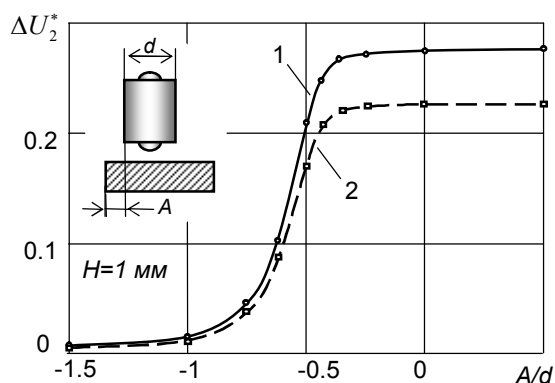


Рисунок 5 – Зависимость относительного вносимого напряжения преобразователя от расстояния до края объекта.

Для исключения проводного соединения был использован Bluetooth модуль, обеспечивающий беспроводное соединение на расстоянии более 10 м. Контактные преобразователи биений были заменены на бескон-

тактные взаимноиндуктивные. Осуществлена оптимизация конструктивных параметров взаимноиндуктивного преобразователя с использованием пакета моделирования COMSOL Multiphysics.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51245-99 «Трубы буровые стальные универсальные. Общие технические условия».
2. Гольдштейн А.Е., Якимов Е.В. Измерение отклонения от соосности сварных соединений буровых труб. // Ползуновский вестник, 2010, № 2, с. 65-69.

Д.т.н., заведующий кафедрой А.Е. Гольдштейн, тел. (3822) 418911, e-mail: algo1@tpu.ru; к.т.н., доцент Е.В. Якимов, тел. +7-903-952-8901, e-mail: shishkovka@mail.ru, магистранты Д.В. Алимов и Д.В. Вахрушев, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

УДК 621.315.592

КОНТРОЛЬ СВОБОДНЫХ СЛОЕВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРОВ

Е.М. Назарова, В.А. Юзова, В.В. Гаврилов

Рассмотрены вопросы микроскопического контроля структуры пористых кремниевых пленок, отделенных от исходных монокристаллических подложек. Показано влияние технологии отделения пленок от подложек на их микроструктуру, целостность и прочность. Приводятся сведения о перспективности использования пористых слоев при изготовлении кремниевых микроэлектронных сенсоров.

Ключевые слова: контроль полупроводникового материала, электрохимическая обработка полупроводников, пористый кремний, пористые кремниевые пленки, микроэлектронный химический сенсор. Введение

Исследование структуры полупроводниковых материалов при изготовлении на их основе новых приборов представляет несомненный научный и практический интерес.

Проблема поиска новых возможностей в области создания компактных и дешевых микроэлектронных сенсоров стала особенно актуальной в последние годы в связи с общим ухудшением экологической обстановки. Перспективными сенсорными материалами являются пористые материалы в виду их большой удельной поверхности. Пристальное внимание исследователей и разработчиков в области сенсорики приковано к пористому кремнию (ПК) поскольку он хорошо сочетается с современными технологиями микро- и нанoeлектроники и, кроме того, обладает лю-

минесцентными свойствами в видимом диапазоне.

Основным компонентом химического сенсора является селективный слой, реагирующий на те или иные молекулы. Чувствительность этого слоя в полупроводниковых химических сенсорах в большей мере зависит от микроструктуры [1]. Микроструктурой достаточно просто управлять в пористом кремнии.

Слои пористого кремния получают электрохимической обработкой пластин монокристаллического кремния в растворах плавиковой кислоты. В зависимости от режимов анодирования, степени легирования исходного кремния донорными или акцепторными примесями, состава электролита и т.д. ПК может