

- ресурс]./-Мосин О.В. -Режим доступа <http://www.merak.ru/articles/journal20rus.htm>.
16. Чанг, Р. Физическая химия с приложениями к биологическим системам./ Р. Чанг -М.: Изд-во «Мир». -1980.-662с.
  17. Постнов, С.Е. Новые подходы в биомедицинской технологии на основе воды пограничного слоя. // С.Е. Постнов, М.В. Мезенцева, Р.Я. Подчерняева и др. - Биомедицинская радиоэлектроника. -2009. -№1. -С. 3-15.
  18. Шипунов, Б.П. Температурная зависимость эффективности воздействия высокочастотного электромагнитного поля на дистиллированную воду//Б.П. Шипунов, И.Е. Стась, И.Н. Паутова . - Вестник ТГУ. Бюл. №62. -2006. -С. 52-61.
  19. Букатый, В.И. Нагрев крови человека низкоинтенсивным лазерным излучением// В.И. Букатый, Я.В. Павлова, С.И. Сакович и др. - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. -2005. -№1. -С. 81-86.
- Д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Букатый В.И., тел. 8-(3852)-66-64-62, Институт водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул); аспирант Нестерюк П.И., тел. 8-913-361-91-49, e-mail: p.nesteryuk@mail.ru, Алтайский государственный университет (г. Барнаул).*

УДК 531.7: 681.2-112.6.001.63

## ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ СООСНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

А.Е. Гольдштейн, Е.В. Якимов

В работе описан принцип измерения отклонения от соосности сварных соединений бурильных труб и особенности системы контроля соосности, разработанной для ОАО «Завод бурового оборудования» (г. Оренбург).

**Ключевые слова:** бурильные трубы, приварные замки, соосность, система контроля.

Качество и эффективность буровых работ, проводимых в различных производственных сферах, в большой мере зависят от качества используемого бурового оборудования и в том числе бурильных труб. Важное место в обширной номенклатуре бурильных труб занимают трубы бурильные стальные с приваренными замками (универсальные ТБСУ, облегченные ТБСО, тяжелой серии ТБСТ и другие). 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 приварных замков и тела трубы. Различают параллельное и угловое отклонение от соосности (рисунок 1).

Согласно [1] отклонение от соосности приварных замков и трубы не должно превышать 0,3 мм у сварного шва (параллельное отклонение) и 0,1 мм на 100 мм длины детали приварного замка вблизи торца (угловое отклонение).

В соответствии с [1] контроль соосности заключается в измерении при вращении трубы двумя индикаторами часового типа радиальных биений замковой части трубы относительно оси тела бурильной трубы в двух се-

чениях, 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:

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

где  $\delta_1$  – биение в сечении 1, мм;  $\delta_2$  – биение в сечении 2, мм;  $A$  – расстояние между сечениями, мм.

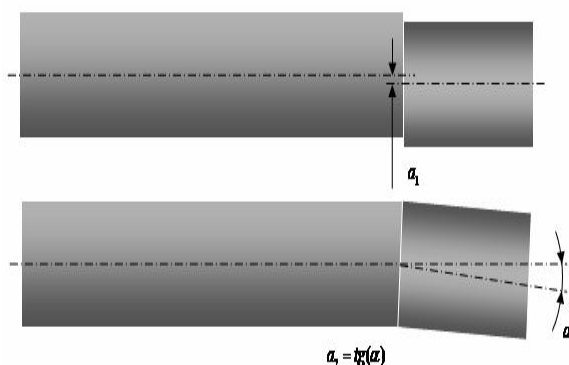


Рисунок 1 - Отклонение от соосности приварных замков и тела трубы:  $a_1$  – параллельное отклонение от соосности,  $a_2$  – угловое отклонение от соосности

## РАЗДЕЛ II. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

Измеренные значения отклонений от соосности  $a_1$  и  $a_2$  сравниваются с их предельно допустимыми значениями.

### Постановка задачи и особенности реализации

В известных реализациях описанного метода контроля как измерительные, так и вычислительные операции, а также протоколирование результатов контроля осуществляются непосредственно самим контролером-оператором, что определяет высокий уровень влияния субъективного фактора на результаты контроля, его трудоемкость и низкую производительность.

В целях устранения указанных недостатков на кафедре информационно - измерительной техники Томского политехнического университета разработана система контроля соосности СКС 10.02, являющаяся рабочим средством контроля соосности приварных замков бурильных труб в процессе их производства в соответствии с [1], а также в процессе их эксплуатации.

В производственных условиях система контроля устанавливается на линии изготовления бурильных труб на участках сварки трением, температурного отпуска сварного соединения, технического контроля готовой продукции.

Основными функциями системы контроля являются:

- измерение значений параллельного и углового отклонений от соосности сварного соединения;
- сравнение измеренных значений отклонений с предельно допустимыми;
- индикация результатов измерения и контроля;
- хранение результатов контроля и их передача на рабочее место диспетчера через информационную сеть цеха.

На индикаторную панель системы выводится следующая информация:

- номера контролируемой трубы и ее сварного соединения;
- порядковый номер измерения отклонений от соосности для данного сварного соединения (при многократных измерениях);
- дата и время измерения;
- наружный диаметр трубы, мм;
- значение базового расстояния, используемого при измерении угловой несоосности, мм

- предельно допустимое значение параллельного отклонения от соосности,
- предельно допустимое значение углового отклонения от соосности, мм/100 мм;
- результат измерения значения параллельного отклонения от соосности сварного соединения, мм;
- результат измерения значения углового отклонения от соосности сварного соединения, мм/100 мм;
- результат контроля (годен/брак);
- преобразованные в аналоговую форму показания индикатора угловых отклонений от соосности (для определения азимута оси максимальных радиальных биений)

Все результаты контроля передаются через информационную сеть цеха на персональный компьютер рабочего места диспетчера, а, кроме того, результаты контроля сохраняются в памяти электронного блока.

### Результаты и их обсуждение

Структурная схема системы контроля приведена на рисунке 2. Система контроля содержит два основных блока: измерительный блок (ИБ) и электронный блок (ЭБ) с подключенными к нему периферийными устройствами – монитором (Мр), клавиатурой (Кл) и мышью (М). Измерительный и электронный блоки соединены между собой кабелем связи (КС).

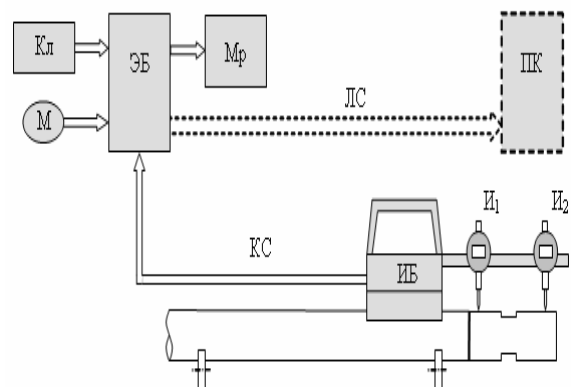


Рисунок 2 - Структурная схема системы контроля соосности СКС 10.02. ИБ – измерительный блок; И<sub>1</sub>, И<sub>2</sub> – индикаторы часового типа; ЭБ – электронный блок; Кл – клавиатура; М – мышь; Мр – монитор; КС – кабель связи; ЛС – локальная сеть; ПК – персональный компьютер диспетчера

Измерение отклонений от соосности осуществляется следующим образом. Цикл измерения запускается автоматически при установке измерительного блока на контро-

лируемую бурильную 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 и с поверхностью замковой части трубы через измерительные стержни двух индикаторов часового типа  $I_1$  и  $I_2$ .

Показание (выходной сигнал) индикатора  $x$  определяется в этом случае суммой начального показания  $x_0$  (до начала вращения трубы) и приращения  $\Delta x$ , обусловленного перемещением измерительного стержня индикатора вследствие возможной несоосности замковой части трубы относительно оси тела трубы:

$$x_1 = x_{01} + \Delta x_1, \quad x_2 = x_{02} + \Delta x_2 \quad (2)$$

где  $x_1$  и  $x_2$ ,  $x_{01}$  и  $x_{02}$ ,  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$ , – текущие, начальные показания и приращения показаний соответственно первого и второго индикаторов.

Для обеспечения максимальной достоверности результатов контроля сечение трубы, в котором производятся измерения первым индикатором, должно быть максимально приближено к плоскости сварного шва, а сечение трубы, в котором производятся измерения вторым индикатором, максимально приближено к торцу замковой части трубы.

Выходные сигналы индикаторов  $x_1$  и  $x_2$  преобразуются контроллером измерительного блока в форму, пригодную для передачи по интерфейсу RS 232, и передаются через кабель связи КС на вход электронного блока ЭБ.

В электронном блоке, основой которого является персональный компьютер с периферийными устройствами, осуществляется запись массивов значений сигналов  $x_1$  и  $x_2$ , соответствующих различным углам поворота контролируемой трубы в диапазоне от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , 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  $\delta_1$  и  $\delta_2$  определяются следующим образом:

$$\delta_1 = x_{1\max} - x_{1\min}, \quad \delta_2 = x_{2\max} - x_{2\min} \quad (3)$$

Далее производится вычисление значений параллельного  $a_1$  и углового  $a_2$ , отклонений от соосности по формулам (1) и срав-

нение полученных значений с предельно допустимыми.

Результаты контроля заносятся в электронный протокол контроля, выводятся на индикаторную панель, а также передаются по локальной сети ЛС на персональный компьютер диспетчера.

Основными элементами конструкции измерительного блока (рисунок 3) являются основание, устанавливаемое при проведении контроля на тело трубы, штанга с закрепленными на ней цифровыми индикаторами часового типа и корпус, в котором размещена плата микроконтроллера, осуществляющего преобразование выходных сигналов индикаторов для передачи по интерфейсу RS 232 в электронный блок.

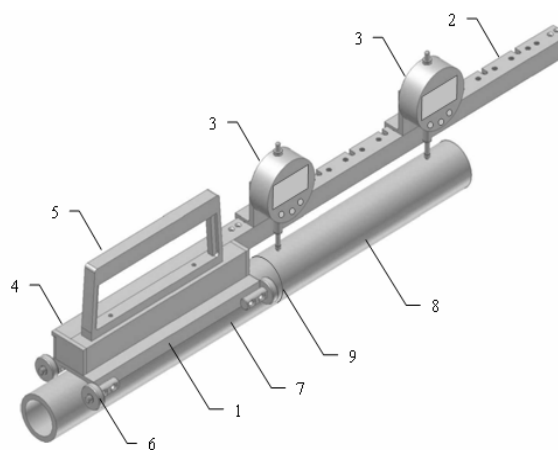


Рисунок 3 - Конструкция измерительного блока:  
1 – основание; 2 – штанга; 3 – индикаторы; 4 – корпус; 5 – ручка; 6 – подшипники; 7 – тело трубы; 8 – приварной замок; 9 – сварной шов

Для облегчения движения основания по телу трубы используются шарикоподшипники.

В процессе контроля вычисляются значения приращения показаний первого и второго индикаторов  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$ , которые в реальном времени отображаются в аналоговой форме на индикаторной панели системы.

Для обработки сигналов измерительной информации, ее хранения и визуализации, осуществляемых в электронном блоке, разработана специальная программа. На рисунке 4 показана лицевая панель программы с пользовательским интерфейсом оператора.

Ниже приводятся основные технические характеристики системы контроля СКС 10.02:

- наружный диаметр свариваемых заготовок – от 43 мм до 108 мм

## РАЗДЕЛ II. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

- диапазон измеряемых значений параллельного отклонения от соосности – 0...2 мм;
- диапазон измеряемых значений углового отклонения от соосности – 0...10 мм/м;
- максимальная база измерения углового отклонения от соосности – 350 мм;
- допустимая погрешность измерения параллельного отклонения от соосности  $\pm 0.05$  мм;
- допустимая погрешность измерения углового отклонения от соосности  $\pm 0.25$  мм/м.

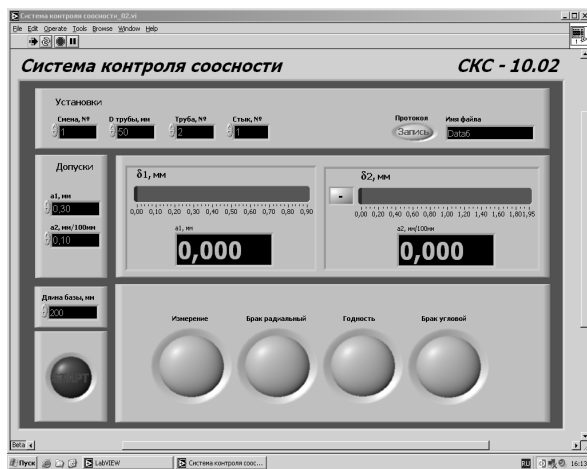


Рисунок 4 - Интерфейс оператора системы контроля соосности

В 2009 году в ОАО «Завод бурового оборудования» (г. Оренбург) была установлена система контроля соосности СКС 10.02, разработанная в рамках выполнения хозяйственного договора. Приемочные испытания системы контроля проводились непосредственно в цехе на трубном участке.

По результатам работ, выполненных при разработке системы контроля соосности СКС 10.02, были намечены пути дальнейшей модернизации.

Во-первых, в системе контроля соосности с цифровыми индикаторами часового типа измерительный блок можно подключать к электронному блоку через беспроводной интерфейс (Bluetooth, радиоканал и др.). Отсутствие соединительного кабеля повысит удобство эксплуатации системы на рабочем месте и надежность системы.

Во-вторых, имеющиеся технические решения могут быть использованы для измере-

ния отклонения от прямолинейности трубы, поскольку при этом используется такой же принцип измерения биения тела трубы относительно мерной базы. По существующим стандартам длина мерной базы должна быть равна 1 м.

Существенным направлением модернизации является отказ от контактных методов контроля (с использованием цифровых индикаторов часового типа) в пользу бесконтактных методов. В этом случае повышается надежность системы и становится шире диапазон рабочих температур, поскольку отсутствует износ контактирующих деталей (измерительного штока индикатора и трубы). Бесконтактные методы контроля могут быть также использованы для измерения отклонения от прямолинейности трубы.

### Заключение

В настоящий момент на кафедре информационно-измерительной техники Томского политехнического университета получены положительные результаты по всем трем перечисленным направлениям модернизации, и могут быть предложены различные варианты систем контроля соосности приварных замков буровых труб:

- система контроля соосности на основе цифровых индикаторов часового типа с кабелем связи (СКС 10.02);
- система контроля соосности на основе цифровых индикаторов часового типа с беспроводным интерфейсом;
- бесконтактная система контроля соосности с кабелем связи;
- бесконтактная система контроля соосности с беспроводным интерфейсом;

Аналогичные варианты систем могут быть предложены для системы контроля прямолинейности буровых труб.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51245-99 «Трубы буровые стальные универсальные. Общие технические условия».

*Д.т.н., профессор Гольдштейн А.Е., тел. (3822) 41-69-16, факс. (3822) 41-92-52; к.т.н., доцент Якимов Е.В., тел. +7-903-952-8901, e-mail: shishkovka@mail.ru, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, кафедра информационно-измерительной техники (г. Томск).*