

На правах рукописи

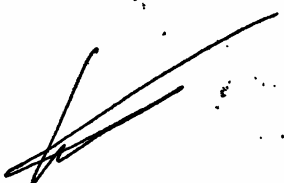
УДК 620.179.16

СЫРКИН Михаил Михайлович

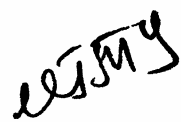
**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ
ДОСТОВЕРНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО
КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**Специальность 05.02.11.- Методы контроля и диагностика
в машиностроении**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва – 2004



Работа выполнена в Московском Государственном
техническом университете им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: профессор, доктор технических наук
АЛЕШИН Н.П.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук
ЩЕРБИНСКИЙ В.Г.

профессор, доктор технических наук
ЧАБУРКИН В.Ф.

Ведущее предприятие: ООО ВНИИГАЗ пос. Развилка
Московской области.

Защита состоится 27 мая 2004 г. на заседании диссертационного
совета Д 212.141.01 при МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу:
105005, 2-я Бауманская ул. д. 5

Ваш отзыв на автореферат в 1 экз., заверенный печатью, просим вы-
слать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Бау-
мана

Автореферат разослан 21 мая 2004 г.
Телефон для справок: 267-09-63

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА



Коновалов А.В.

Подписано к печати 15.04.2004 г. Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз.
Заказ 54т Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана

Актуальность работы. По данным Госгортехнадзора, сегодня в России, эксплуатируются около 230 тыс. км трубопроводов различного назначения, более 60% из которых - газопроводы. Около 40% магистральных трубопроводов (по протяженности) отработали более 20 лет. Уровень аварийности в 1996-1999 гг. на газопроводах составлял 0,18-0,21 аварии на 1000 км, а в 2000 г. возрос до 0,24-0,26.

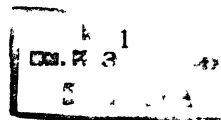
С 1992 по 2000 г. аварии происходили по следующим причинам: 34,7% - из-за внешних силовых воздействий на трубопроводы в основном землеройной и гусеничной техники; 24,7% - из-за нарушений норм и правил производства работ при строительстве и ремонте; 23,5% - из-за коррозионных повреждений труб, запорной и регулирующей арматуры; 12,4% - из-за нарушений технических условий при изготовлении труб и оборудования на заводах; 4,7% - из-за ошибочных действий ремонтного и эксплуатационного персонала.

В работах Чабуркина В.Ф. показано, что на долю сварки приходится 40% отказов, выявляемых при испытаниях давлением новых трубопроводов. Это обусловлено, прежде всего, низкой достоверностью обнаружения плоскостных дефектов (35-60 %) при применении радиографического способа контроля, который пока доминирует при сооружении газопроводов. Известно, что ультразвуковой контроль (УЗК) имеет более высокую вероятность обнаружения плоскостных трещиноподобных дефектов (до 97 %).

Одной из основных трудностей, сдерживающих применение УЗК, является отсутствие документа и влияние субъективных факторов при ручном УЗК. Решением проблемы мог бы стать автоматизированный УЗК. Для автоматизации процесса УЗК необходим специальный механизм сканирования (МС) акустической системы (АС), который должен перемещать ее вдоль шва. При этом можно выделить два подхода к конструкции МС:

- 1) возвратно-поступательное движение АС, повторяющее движения дефектоскописта при ручном контроле;
- 2) продольное сканирование многоэлементными АС.

Системы, использующие продольное сканирование, существенно проще по конструкции и, следовательно, надёжнее. Такие разработки есть у фирм «RTD» (Голландия) – «Rotoscan» и «Bandscan», «Sonomatic» (Англия), «Orbiscan» (Intercontrole, Франция) и др. Однако, эти системы обладают существенным недостатком: для задания направления перемещения и удержания механизма сканирования используются жесткие направляющие. При неточной установке последних достоверность контроля резко ухудшается. Известно, что при контроле сварных соединений, выполненных аппаратурой «CRC-EVANS», для закрепления акустического блока используются те же направляющие, которые использовались при сварке. Однако, при монтаже газопроводов автоматическая сварка типа «CRC-EVANS» применяется редко, а механизация сварки достигается вращением трубы без использования направляющих.



Установка и юстировка направляющих при контроле сварных стыков трубопроводов больших диаметров является весьма трудоёмкой операцией. Особенно она усложнена при проведении работ в неблагоприятных климатических условиях Сибири и Крайнего Севера. Кроме того, при этом не обеспечиваются оптимальные условия прозвучивания сечения шва.

По-видимому, более перспективный подход заложен в установке «Автокон МГТУ», где перемещение акустического блока вдоль сварного шва осуществляется МС на магнитных колесах, а отслеживание сварного шва в процессе сканирования - с помощью специальных датчиков слежения и системы управления. Недостатком указанного устройства является неудовлетворительное отслеживание оси сварного шва и недостаточная устойчивость механизма сканирования.

Цель работы: повышение достоверности ультразвукового контроля путём применения автоматизированных и механизированных средств контроля с автоматическим документированием результатов контроля.

Задачи исследования:

1. Проанализировать ошибки измерения координат, размеров и типа дефекта применительно к автоматизированному ультразвуковому контролю (АУЗК), возникающие, в основном, из-за несовершенства следующих элементов:

- а) механизма перемещения преобразователя и системы слежения за швом,
- б) системы слежения за качеством акустического контакта,
- в) акустического блока с преобразователями.
- г) системы обработки, передачи и отображения информации.

2. Проанализировать существующие схемы МС с точки зрения устойчивости движения и влияния на характер движения параметров датчиков.

3. Изучить существующие конструкции датчиков слежения за швом (ДСШ) как основу автоматизации системы сканирования и выбрать их оптимальную для имеющихся условий конструкцию.

4. Проанализировать зависимость устойчивости движения МС от параметров системы и внешних воздействий. Построить математическую модель движения МС.

5. Оптимизировать схемы и параметры МС и ДСШ по критерию минимальной чувствительности к действию мешающих внешних факторов и минимальным требованиям к квалификации обслуживающего персонала.

6. Исследовать влияние качества акустического контакта (АК) на достоверность АУЗК.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. На основе решения характеристического уравнения разработан алгоритм определения границ устойчивости МС в зависимости от схемы МС, её размеров, скорости движения, чувствительности датчиков, начальной установки МС и т.д. Показано, что устойчивое движение платформы при слежении за сварным швом обеспечивают только МС с двусторонним

расположением колес относительно сварного шва и поворотным шарниром, дающим возможность разворачивать ось вращения передних колес относительно оси задних.

2. На основе решения системы дифференциальных уравнений разработана математическая модель движения МС, описывающая траекторию движения МС в реальных условиях: при неточной начальной установке МС оператором, после случайного сбоя, при действии мешающих факторов. Максимальное приближение траектории движения МС к оси сварного шва обеспечивает наиболее полное выявление дефектов в сечении сварного шва.

3. На основе анализа устойчивости движения МС выработана методика построения МС, обеспечивающего соблюдение заданных параметров движения с минимальным влиянием мешающих факторов.

Практическая ценность работы:

1. Разработан МС, обеспечивающий слежение за сварным швом акустической системой (АС) с необходимой точностью без применения дополнительных механических направляющих.

2. В новой схеме построения МС исключены ручные регулировки МС в зависимости от высоты и конфигурации сварного шва, датчик руления и соответственно его регулировка чувствительности, регулировка высоты ДСШ над швом, что вместе взятое, резко снижает требования к квалификации обслуживающего персонала.

3. Создан и апробирован новый ДСШ, имеющий компенсацию погрешности слежения при перекосе кромок сварного шва, нередко встречающегося при сварке в полевых условиях.

4. Разработанные узлы и технологии АУЗК вошли составной частью в автоматизированный ультразвуковой комплекс «Автокон-МГТУ-2», который прошел промышленную апробацию в различных организациях нефтегазового комплекса.

Структура диссертации:

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и результатов. Содержит сто двадцать девять страниц машинописного текста, 45 рисунков, 1 таблицу и 60 наименований использованных источников.

В первой главе проводится сравнительный анализ конструкций МС, систем слежения и важнейшей части последних - датчиков слежения за швом (ДСШ).

Анализ литературных данных и проведенные исследования показали, что кинематическую схему МС целесообразно выбирать из следующих вариантов:

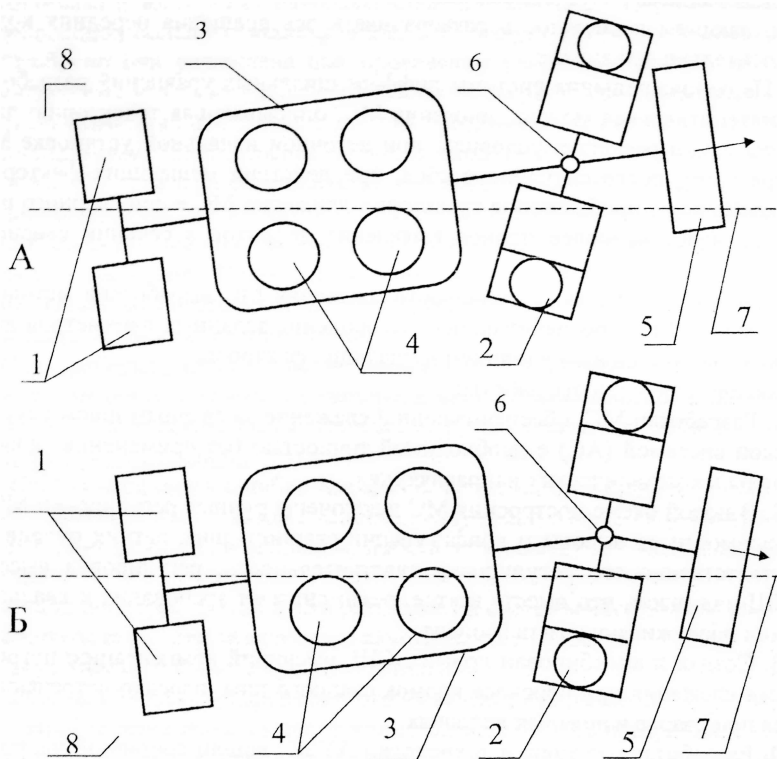


Рис. 1. Схемы МС
 А) с креплением ДСШ к раме
 Б) с креплением ДСШ к ведущим колесам

- 1 - магнитные колеса
- 2 - электропривод колес
- 3 - рама с акустической системой
- 4 - акустические блоки
- 5 - датчик слежения за швом
- 6 - датчик угла поворота
- 7 - сварной шов
- 8 - поверхность изделия

1. с суппортом и односторонним относительно сварного шва расположением колес;
2. с поворотной передней осью и односторонним относительно сварного шва расположением колес;
 - а) с креплением ДСШ перед поворотной передней осью
 - б) с креплением ДСШ за поворотной передней осью
3. с поворотной передней осью и двухсторонним относительно сварного шва расположением колес;
 - а) с креплением ДСШ к раме МС (рис1а);
 - б) с креплением ДСШ к поворотной передней оси (рис1б);

Как показали исследования, наиболее просто обеспечивается устойчивость движения для МС с суппортом. Однако, при неточной установке МС на изделие при больших протяженностях сварных швов возможен наезд неуправляемой тележки на выпуклость сварного шва или нехватка длины ходового винта суппорта.

МС с поворотной передней осью и односторонним относительно сварного шва расположением колес с креплением ДСШ перед поворотной передней осью и МС с поворотной передней осью и двухсторонним относительно сварного шва расположением колес с креплением ДСШ к раме МС требуют для работы ДСШ и датчика руления (ДР) с соответствующей шву чувствительностью. По устойчивости они близки, но МС с двухсторонним расположением колес компактнее и легче.

МС с поворотной передней осью и односторонним относительно сварного шва расположением колес с креплением ДСШ за поворотной передней осью для устойчивого движения требует более сложной системы управления, не имея преимуществ в устойчивости.

МС с поворотной передней осью и двухсторонним относительно сварного шва расположением колес с креплением ДСШ к поворотной передней оси не требует для работы ДР, что упрощает МС и повышает его надежность.

Наиболее ответственным и сложным элементом системы слежения является ДСШ. ДСШ предназначен для выработки управляющего сигнала при смещении МС вправо или влево относительно плоскости симметрии шва. В настоящее время применяются, в основном, три типа ДСШ: механические, акустические и электромагнитные.

Типичный механический ДСШ содержит несколько штанг с колесиками на нижнем конце, расположенных в ряд поперек шва и опирающихся на выпуклость шва. Штанги могут перемещаться в вертикальной плоскости в зависимости от высоты той части шва, на которую опирается колесико. Верхние концы штанг связаны с движками реостатов или других датчиков перемещения. Таким образом, по изменению сопротивления реостатов можно определить профиль выпуклости шва.

К недостаткам подобных устройств следует отнести наличие элементов

точной механики, которые плохо работают в экстремальных условиях, характерных для строительства газопроводов: большого температурного диапазона (от -40 С до +40 С), грязи, пыли, повышенной влажности, ударных и вибронагрузок. Кроме того, из-за износа при эксплуатации первоначальная настройка датчиков нарушается и требуется периодическая юстировка устройства.

Принцип действия акустического ДСШ с отражением от границы сплавления основан на способности ультразвука отражаться от границы раздела сред с разными акустическими сопротивлениями.

Данный эффект более заметен в сварных швах, соединяющих детали из аустенитных сталей, где резко различаются структура и иногда состав материала в шве и в детали (у сварных швов аустенитных сталей крупная дендритная структура). У сталей, из которых выполняются газо- и нефтепроводы, акустические сопротивления стали трубы и сварного шва, как правило, различаются незначительно. Поэтому отраженный луч имеет малую амплитуду, сравнимую с амплитудой помех, и нестабилен по величине.

Кроме того, ровная и четкая граница сплавления получается обычно только при однопроводной автоматической сварке, которая применяется, как правило, при толщинах до 10 мм. Для больших толщин изделий преимущественно применяют многослойную сварку, в полевых условиях обычно ручную. В этом случае граница сплавления получается неровной и нечеткой, вследствие чего направление и амплитуда отраженного луча меняются при ходе датчика вдоль шва, и получить стабильный результат весьма сложно.

Акустические ДСШ с отражением поверхностной волны от валика усиления удовлетворительно работают, как показала практика, только на швах, сформированных автоматической сваркой, у которых стабильна ширина выпуклости шва, а сама выпуклость шва ровная и симметричная. Если имеется перекося кромок, то выпуклость шва становится несимметричной, что также ухудшает работу таких ДСШ.

Кроме того, для всех акустических ДСШ характерен износ пьезоэлектрических пластин (ПЭП), сопровождаемый изменением их параметров, требующий их периодической замены и частой настройки, что снижает производительность труда, требует высокой квалификации персонала, что обесценивает выигрыш от автоматизации процесса контроля.

Наиболее подходящими для МС показали себя электромагнитные ДСШ. Они не содержат движущихся и изнашивающихся элементов. Кроме того, для их работы не нужен механический или акустический контакт ДСШ и изделия. Однако, наиболее часто применяемые электромагнитные ДСШ обладают следующими недостатками:

1. Чувствительность ДСШ сильно зависит от высоты над швом.
2. При наличии перекося кромок свариваемых изделий появляется сис-

тематическая ошибка, зачастую превышающая полезный сигнал ДСШ (рис.3).

3. Характеристика ДСШ сильно нелинейна, и выходной сигнал подвержен помехам.

Поэтому необходимо было создать электромагнитный ДСШ, который был бы лишен указанных недостатков.

Вторая глава посвящена анализу устойчивости движения МС и составлению математической модели движения МС. Анализ устойчивости системы проводился из рассмотрения системы уравнений (ввиду малости углов φ и α синусы углов заменены самими углами):

$$\begin{cases} x' = \varphi V + \frac{V}{l} (\varphi - \alpha) l_1 & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha' = \frac{V}{l} (\varphi - \alpha) & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (\varphi - \alpha)' = -a x - b (\varphi - \alpha) & (3) \end{cases}$$

где l - расстояние между осями колесных пар, l_1 - расстояние от датчика слежения за швом до передней пары колёс, α - угол поворота задней пары колёс относительно оси сварного шва, а φ - передней. V - скорость МС, а x - отклонение ДСШ от оси шва. В этой системе (3) - уравнение управления углом $(\varphi - \alpha)$, где a - чувствительность ДСШ, а b - чувствительность датчика угла поворота, так как $(\varphi - \alpha)$ и есть угол между осью тележки и направлением движения ведущих колёс. Составив характеристическое уравнение и проверив условия устойчивости с помощью критерия Гурвица, получим, что движение будет устойчивым, если

$$a > 0 ; \quad b > \frac{V}{l + l_1}$$

Так как $(\varphi - \alpha)'$ (скорость поворота ведущих колёс) ограничена максимальной разностью скоростей ведущих колёс, во избежание самовозбуждения системы слежения из-за задержки в цепи обратной связи, в (3) a и b должны быть ограничены и сверху. Подставив параметры МС (рис1а) $l=0,4\text{м}$, $l_1=0,2\text{м}$, $l_x=0,3\text{м}$, $V=0,015\text{м/с}$, $x_{\max}=0,015\text{м}$.

Получим: $0 < a < 3,5(\text{м} \times \text{с})^{-1}$; $0,037 \text{ с}^{-1} < b < 0,08 \text{ с}^{-1}$

Для практики кроме границ устойчивости важно знать траекторию движения МС в реальных условиях: при неточной начальной установке МС оператором, после случайного сбоя, при действии мешающих факторов и при самопроизвольных изменениях параметров МС (чувствительности датчиков, высоты ДСШ над швом и т.д.)

Для этого, решая систему (1,2,3): подставив параметры МС, найдем корни характеристического многочлена: $K_1 = -0,00125$; $K_2 = -0,019 - 0,39i$; $K_3 = -0,019 + 0,39i$. Так как действительный корень один, решение диффе-

ренциального уравнения в общем виде выглядит так:

$$y = C_1 e^{K_1 t} + e^{\mu} (A \cos ht + B \sin ht) \text{ то есть затухающее колебание, где } \frac{1}{K_1} -$$

постоянная времени затухания колебаний МС около шва, равная в нашем случае 790 с, что весьма много. Траектория МС (рис 2а), построенная при решении относительно x с начальным смещением МС на 2 см влево, $\varphi = \alpha = 0$ наглядно иллюстрирует долгое затухание колебаний МС, неприемлемое для практической работы.

Поэтому был предложен следующий способ повышения устойчивости: ДСШ жестко связывается не с рамой МС, а с ведущими колёсами (рис.16). При этом сигнал ДСШ зависит не только от положения МС, но и от поворота ведущих колёс.

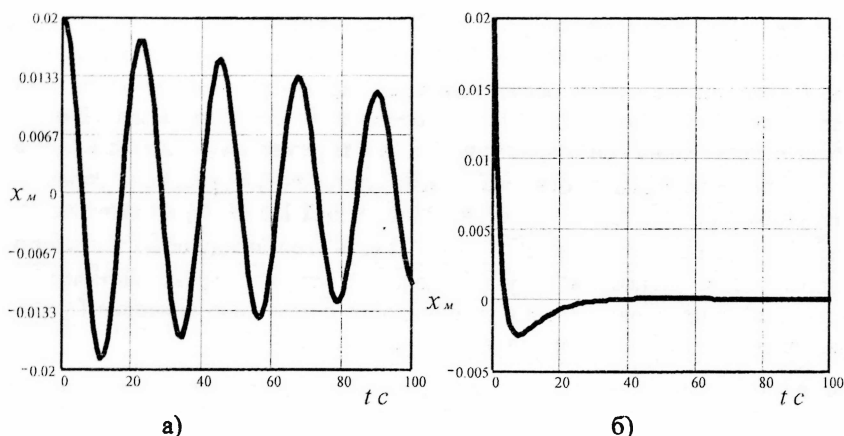


Рис.2 Расчетная траектория МС разных схем с одинаковой чувствительностью ДСШ

а) ДСШ на раме $a = 3 \text{ (м} \times \text{с)}^{-1}$; $b = 0,0375 \text{ с}^{-1}$

б) ДСШ на ведущих колесах $a = 3 \text{ (м} \times \text{с)}^{-1}$; ДР нет.

В этом случае уравнения, описывающие движение МС выглядят так:

$$\begin{cases} x' = \varphi V + \varphi' l_1 & (5) \\ \alpha' = \frac{V}{l} (\varphi - \alpha) & (6) \\ (\varphi - \alpha)' = -a x - b (\varphi - \alpha) & (7) \end{cases}$$

Как видно, система уравнений отличается от (1,2,3) только первым уравне-

нием. Это вызвано тем, что ДСШ поворачивается вместе с ведущими колёсами и его координаты изменяются.

Согласно описанному выше методу, система устойчива при условии:

$$a > 0; \quad (8) \quad (b + a l_1) \left(1 + \frac{l_1}{l}\right) - \frac{V}{l} > 0 \quad (9)$$

Из (9) видно, что b можно сделать равным 0, то есть отказаться от обратной связи по углу, исключив ДР. При $b=0$, получим: $a > \frac{V}{l_1(l+l_1)}$, подставив параметры МС, получим $a > 0,125(\text{м} \times \text{с})^{-1}$; при этом $a_{\text{max}} = 6(\text{м} \times \text{с})^{-1}$, то есть почти в 2 раза больше, чем в схеме 1а. Это позволяет обеспечить устойчивость работы МС на существенно отличающихся швах. Несмотря на то, что согласно ВСН 012-88 для толщины трубы 16 мм ширина валика усиления может меняться в пределах 22 ± 4 мм, высота - 1 ± 3 мм, в реальности был отмечен разброс ширины выпуклости шва 15 ± 30 мм, а высоты - 1 ± 9 мм. При этом электромагнитный ДСШ с фиксированной высотой над поверхностью трубы 10 мм имел чувствительность $a = 1 \pm 2(\text{м} \times \text{с})^{-1}$ на одном стыке (высота выпуклости шва 2 ± 4 мм, ширина - 20 ± 28 мм) и $4 \pm 6(\text{м} \times \text{с})^{-1}$ на другом (высота выпуклости шва 5 ± 8 мм, ширина 15 ± 20 мм). В таких условиях без дополнительной регулировки мог работать только МС по схеме 1б.

Траектория МС с креплением ДСШ к управляемым колесам при корнях характеристического многочлена: $K_1 = -1,050$; $K_2 = -0,148$; $K_3 = -0,00126$ (действительных и отрицательных), являет собой аperiodическое затухание (рис 26). То есть, изменив схему МС, удалось не только расширить допустимые пределы чувствительности ДСШ, но и коренным образом изменить характер затухания, сделав его аperiodическим и гораздо более коротким, что уменьшает время возвращения МС на ось шва и, соответственно, зону потерь акустического контакта.

Третья глава посвящена разработке конструкции системы слежения и механизма сканирования.

Система слежения представляет собой замкнутый контур управления, основными элементами которого являются:

- а) датчики: слежения за швом (ДСШ), руления (ДР), пути (ДП), начала и конца контроля (ДНКК);
- б) система обработки выходной информации датчиков;
- в) исполнительное устройство (правый и левый тяговые электродвигатели).

Типичный электромагнитный ДСШ содержит катушку возбуждения, а под ней две информационные катушки справа и слева от шва, в которых возникает ЭДС взаимной индукции, величина которой определяется величиной первичного тока катушки возбуждения и магнитной проницаемостью среды, которая в свою очередь зависит от интегральной оценки объема ме-

талла, находящегося под информационными катушками.

На реальных объектах подобные ДСШ надежно работают на сварных швах без перекоса кромок и при незначительных (до 10 мм) улодах ДСШ влево и вправо от выпуклости шва. Однако они имеют ряд принципиальных недостатков:

- 1) при перекосе кромок сварного шва появляется постоянная составляющая выходного сигнала, по величине превышающая величину сигнала расфокусирования от смещения датчика относительно выпуклости шва (рис 3);
- 2) незначительная величина выходного сигнала по амплитуде, что приводит к заметному влиянию на него различного рода помех;
- 3) катушка возбуждения находится над информационными катушками, поэтому степень взаимного влияния катушек друг на друга очень большая. В результате закон изменения выходного сигнала от напряженности магнитного поля информационных катушек носит сложный характер, что вносит дополнительную погрешность.

Новый датчик содержит четыре чувствительных элемента, расположенные в ряд. Специальная конструкция позволяет сфокусировать электромагнитное поле каждой катушки в направлении объекта контроля, что приводит к значительному повышению чувствительности и магнитной развязке чувствительных элементов. Крайние катушки играют роль компенсационных, необходимых для учета влияния перекоса кромок, а средние катушки – роль информационных. Катушка возбуждения отсутствует. Информационным параметром служит изменяющаяся в зависимости от близости металла индуктивность катушек. Через преобразователи «индуктивность-напряжение» выходные сигналы обрабатываются по специальному алгоритму, что вместе взятое обеспечивает точность слежения за швом ± 1 мм при перекосе кромок шва ± 4 мм при норме ВСН 012-88 на перекося кромок ± 1 мм (см. рис 3).

Исследования показали, что для повышения точности определения продольной координаты дефекта целесообразно использовать:

- а) Датчик начала контроля жидкостного типа, срабатывающий при горизонтальном положении МС (для определения зенита траектории),
- б) Двухканальный датчик пути с квадратурными каналами для исключения влияния вибрации, люфтов в редукторе и других отрицательно влияющих факторов.

Как показал опыт создания установок АУЗК в МГТУ им. Баумана и анализ литературных источников, от компоновки системы АУЗК существенно зависит ее помехоустойчивость, а, следовательно, и достоверность АУЗК. При расположении внутри МС только АС, связанной кабелем с внешним блоком обработки, установка наиболее чувствительна к электромагнитным наводкам из-за большой длины кабеля и низкого уровня сигналов.

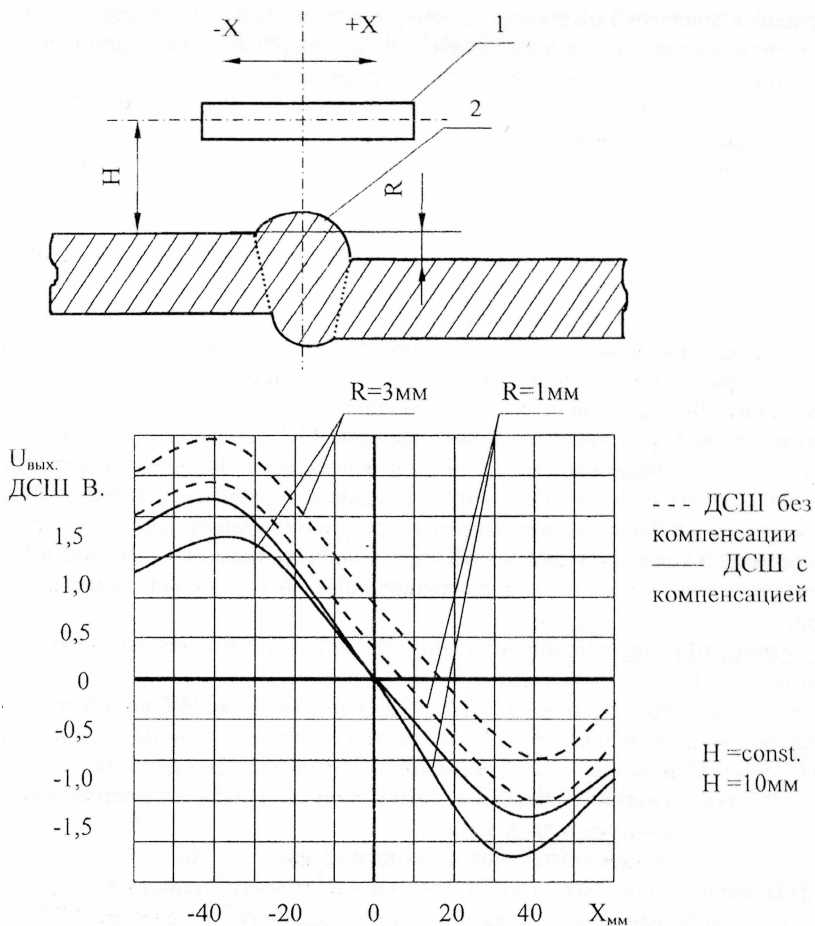


Рис.3 Зависимость сигнала ДСШ от бокового смещения при перекосе кромок сварного шва

- 1- датчик слежения за швом (ДСШ)
2- сварной шов

Ситуация улучшается при расположении внутри МС кроме АС аналоговой части блока обработки (генераторы зондирующих импульсов, усилители) и аналогово-цифровые преобразователи (АЦП). Существенное повышение достоверности передаваемой информации возможно при использовании предварительной обработки информации на борту МС. Тем не менее, как показал опыт, при использовании кабеля для питания МС и передачи даже предварительно обработанной информации, из-за загрязнения разъема при перестыковке после прохождения каждого шва наблюдалась потеря передаваемой информации в 6% случаев даже в условиях лаборатории. Очевидно, в полевых условиях этот показатель ухудшится.

Принимая во внимание вышеперечисленные замечания, был предложен следующий вариант построения системы АУЗК:

МС выполняется автономным с аккумуляторным питанием и с устройством предварительной обработки информации, содержащим память, способную фиксировать данные о проконтролированных стыках. После прохождения 10-15 стыков, что (с учетом переноски и установки МС на шов) потребует четырех часов рабочего времени МС через стандартный порт RS-232 или по радиоканалу [2,3,5] подсоединяется к внешнему компьютеру, находящемуся в КУНГе для окончательной обработки для представления в виде, удобном для восприятия и документирования. Для исключения возможного холостого прогона МС при недостаточном качестве АК, в МС предусмотрено устройство, сигнализирующее об ухудшении качества АК более 15 дБ.

В четвертой главе рассмотрены вопросы влияния качества акустического контакта (АК) на достоверность АУЗК.

Как отмечено в работах В.Г. Щербинского, качество АК во многом определяет чувствительность дефектоскопа, степень ее стабильности на разных участках изделия а, следовательно, и достоверность контроля.

Вопрос влияния качества акустического контакта на достоверность АУЗК был рассмотрен в двух аспектах:

- 1) Влияние состава контактной жидкости на качество АК.
- 2) Влияние различных способов оценки АК на достоверность АУЗК.

Для оценки влияния состава контактной жидкости на качество АК были проведены следующие эксперименты. При испытании системы АУЗК на стыке трубы диаметром 1420 мм и толщиной стенки 16 мм, $R_z=40$ был выведен к внешнему компьютеру канал контроля АК. Относительная амплитуда принятых импульсов отображена на рис.4.

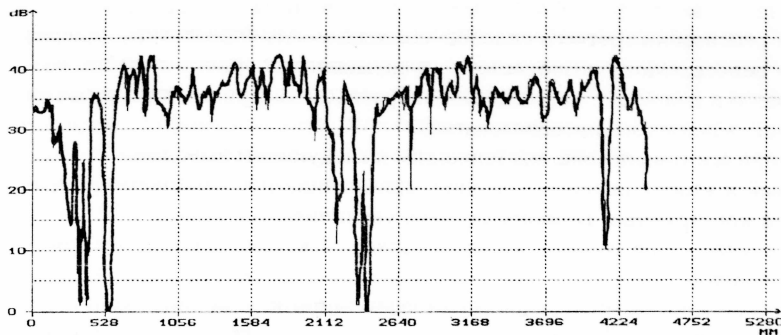


Рис. 4. Уровень сигнала в канале контроля АК

При проведении экспериментов в качестве контактной жидкости использовались (см. таблицу 1):

Таблица 1.

Контактная Жидкость	Машинное Масло	Магнитная Жидкость	Вода с ПАВ
Потери АК до 6дБ	62 % длины шва	74,2%	85,6 %
Потери АК 5-15дБ	31% длины шва	22 %	14 %
Потери АК >15дБ	7% длины шва	3,8%	1,4%

Как показал опыт применения систем автоматической регулировки усиления (АРУ), без потери достоверности определения амплитуды сигналов, отраженных от дефекта, можно скомпенсировать ухудшение АК до 10+15 дБ. Таким образом, при применении машинного масла 7 % длины шва будут проконтролированы с неудовлетворительной степенью достоверности, а при применении воды с добавлением поверхностно-активных веществ (ПАВ) - всего 1,4% .

Для определения потери сигнала в АК наибольшее распространение на практике получили три способа. При реализации первого способа опорный сигнал формируется в результате обратного отражения в призму наклонного преобразователя от его границы с изделием продольной волны. Для регистрации опорного сигнала в призме выполнен специальный отражатель. После отражения от него импульс УЗ колебаний вновь попадает на границу раздела, отражается от нее и воспринимается пьезопластиной. Измеряя его амплитуду, оценивают качество АК.

Второй способ основан на измерении амплитуды донного эхо- сигнала продольной волны, возбуждаемой в изделии посредством дополнительной пьезопластины, которая установлена в призме наклонного преобразователя параллельно его контактной площадке таким образом, что площади ввода в изделие пучков УЗ колебаний, излучаемых этой и основной пьезопласти-

ной, совпадают.

При реализации третьего способа состояние АК определяют, измеряя уровень непрерывного низкочастотного шумового опорного сигнала, возбуждаемого в изделии специальным вибратором и принимаемого пьезопластиной наклонного преобразователя.

Сравнив все три способа, мы приходим к следующим выводам:

Первый и второй способы требуют применения преобразователей специальной конструкции. В обоих случаях увеличивается высота ПЭП, а во втором случае - еще требуется дополнительный кабель и канал для обработки сигнала.

Третий способ не требует внесения каких-либо изменений в конструкцию ПЭП и в технологию контроля. Однако этот способ требует дополнительного шумового генератора и специального вибратора, который возбуждает шумовой сигнал. Исследования показали, что в качестве шумового опорного сигнала можно использовать структурные шумы, возникающие при обычном зондировании шва. Для этого необходимо в течение цикла прозвучивания генерировать дополнительный стробирующий импульс для приема шумового сигнала в специально выбранном временном интервале. Данный метод контроля АК, к сожалению, сложен для применения в автоматизированном УЗК из-за низкой помехоустойчивости и малой точности.

Развитие компьютерных технологий позволило при использовании первого способа упростить конструкцию преобразователя, исключив специальный отражатель. Прием отраженной от границы раздела волны ухудшится из-за несоответствия угла падения и угла отражения а также из-за растягивания фронта волны. Он будет осуществляться в основном за счет шероховатости поверхности. Так как шероховатость поверхности на разных изделиях может различаться, требуется адаптация системы под конкретную поверхность. Адаптация осуществляется автоматически после установки МС на объект при движении к точке начала контроля. Применяя ПЭП по возможности минимальной высоты и, математически обработав отраженный от границы раздела волны сигнал в соответствующем стробе по специальному алгоритму были получены следующие результаты:

Диапазон контролируемых потерь в АК	$0 \div 12 \text{ дБ}$
Точность контроля потерь в АК	$\pm 2 \text{ дБ}$

Учитывая вышесказанное, наиболее универсальным и максимально технологичным является метод определения качества АК, опорный сигнал для которого формируется в результате обратного отражения в призму наклонного преобразователя от его границы с изделием продольной волны с дополнительной математической обработкой и адаптацией к шероховатости поверхности изделия. Этот метод не требует внесения изменений в

конструкцию ПЭП и технологию контроля. Его достоверность при использовании оптимальной контактной жидкости вполне достаточна для АУЗК.

Разработанные узлы и технологии АУЗК вошли составной частью в автоматизированный ультразвуковой комплекс «Автокон-МГТУ-2» который прошел промышленную апробацию в различных организациях нефтегазового комплекса. Было проконтролировано более 7,5 км швов труб диаметром 1420 мм с толщиной стенки 16 мм.

Основные выводы и результаты.

1. Для обеспечения устойчивости движения МС с двусторонним расположением колес относительно сварного стыка и поворотным шарниром в случае, когда датчик слежения за сварным швом (ДСШ) жестко связан с платформой, помимо ДСШ в систему управления должен быть включен датчик угла поворота передних колес МС относительно платформы – датчик руления (ДР). Диапазон чувствительности ДСШ и ДР, при котором сохраняется устойчивость движения описанного выше МС, составляет $0 < a < 3,5 \text{ (м} \times \text{с)}^{-1}$; $0,037 \text{ с}^{-1} < b < 0,08 \text{ с}^{-1}$ соответственно. Если ДСШ жестко связан с поворотной осью передних колес: $0,125 \text{ (м} \times \text{с)}^{-1} < a < 6 \text{ (м} \times \text{с)}^{-1}$ при $b = 0$, то есть наличие датчика угла поворота необязательно.

2. На основе математического моделирования траектории движения МС и экспериментальной проверки установлено, что МС с креплением ДСШ к поворотной передней оси имеет постоянную времени следящей системы 20 с против 800 с у МС с креплением ДСШ к раме при одинаковой чувствительности ДСШ. Кроме того, увеличенный диапазон чувствительности ДСШ, при котором сохраняется устойчивость движения, МС позволяет обеспечить безподстроечную работу МС при контроле швов с разбросом размеров валика усиления 15÷30 мм по ширине и 1÷9 мм по высоте.

3. Установлено, что при использовании АУЗК наблюдается значительная нестабильность качества акустического контакта (АК) порядка 5÷15 дБ, которая может быть компенсирована введением АРУ по каждому каналу, а также применением специальных контактных жидкостей, например раствора ПАВ в воде, что позволило уменьшить протяженность части сварного шва с неудовлетворительной достоверностью с 7% при использовании машинного масла до 1,4% для указанного раствора.

4. Установлено, что достоверность АУЗК существенно зависит от помехоустойчивости каналов связи между элементами системы, которая повышается при расположении на борту МС аналоговой части дефектоскопа и блока предварительной цифровой обработки сигнала. МС целесообразно выполнить с аккумуляторным питанием и запоминанием обработанной информации на несколько стыков с последующей передачей ее по радиоканалу.

5. Контроль потерь сигнала, вызванных нестабильностью АК, целесооб-

разно осуществлять на основе метода определения качества АК, опорный сигнал для которого формируется в результате обратного отражения продольной волны в призму наклонного преобразователя от его границы с изделием с дополнительной математической обработкой и адаптацией к шероховатости поверхности изделия.

6. Для обеспечения безыносной работы и высокой точности слежения за швом, целесообразно применять ДСШ электромагнитного типа с параметрическим включением катушек (для ослабления влияния наведенных помех) и с дополнительным каналом компенсации влияния перекося кромок сварного шва.

7. Разработана математическая модель движения МС, описывающая кинематику МС в зависимости от её схемы, размеров, скорости движения, чувствительности датчиков, начальной установки МС и т.д.

8. Разработана методика оперативной настройки системы слежения без использования дополнительных приборов.

9. Разработан датчик слежения за швом (ДСШ), обеспечивающий точность слежения ± 1 мм при перекося кромок до 4мм (при норме ВСН на перекося кромок не бо ± 1 мм) и изменении высоты ДСШ над швом от 0 до 9мм. Допустимый диапазон поперечных смещений ДСШ ± 35 мм.

10. Разработана аппаратура и технологии автоматизированного УЗ контроля прошла промышленную апробацию в различных организациях нефтегазового комплекса.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Сыркин М. Повышение устойчивости движения механизма сканирования для автоматизированного ультразвукового контроля // Дефектоскопия. - 2003. - № 2. - С. 67-71.
2. Сыркин М. Смесители на полевых транзисторах // Радио. - 2002. - № 11. - С. 66-67.
3. Сыркин М. Исокоуровневый смеситель для трансиверов прямого преобразования // Радио. - 2002. - № 11. - С. 62-63.
4. Сыркин М. i. Повышение достоверности автоматизированного ультразвукового контроля // Дефектоскопия. - 2003. - № 2. - С. 11-20.
5. Сыркин М. Дулятор на варикапах // Радио. - 2003. - № 4. - С. 68.