

## МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОБОЛОЧКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ МАГНИТНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Ибрагимов И.Г., Вильданов Р.Г.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*Описана система мониторинга, включающая аппаратные и программные средства, метод магнитного сканирования и технологию проведения работ по диагностированию.*

Проблема качества и надежности материалов, изделий и конструкций является одной из актуальных проблем современного производства, особенно для конструкций, эксплуатирующихся в экстремальных условиях при высоких динамических и статических нагрузках, в контакте с пожаро- и взрывоопасными средами. В нефтегазовой отрасли эксплуатируется большое число оболочковых конструкций для хранения, транспортировки и переработки различных нефтепродуктов, а также пожаро- и взрывоопасных жидкостей. Резервуары занимают особое место среди оболочковых конструкций. Резервуарные парки – одно из главных и в то же время самое слабое звено в цепи нефтепродуктообеспечения. Число отказов в резервуарных парках, в том числе аварийных, велико. Низкая надежность резервуаров связана в первую очередь с тем, что подавляющее большинство вертикальных стальных резервуаров эксплуатируются дольше назначенного ресурса, равного 20-25 годам. В АК "Транснефть", например, по состоянию на 2000 г. 60 % резервуаров для хранения товарной нефти превысили нормативные сроки эксплуатации [1].

При малоцикловом нагружении в нагруженных элементах резервуара (стенке, окрайке днища) сначала возникают усталостные повреждения, которые постепенно развиваются до образования трещин. В связи с этим процесс развития дефектов и расчет ресурса можно разделить на две стадии: на стадию накопления усталостных повреждений и на стадию развития трещин до критического размера, при достижении которого происходит катастрофическое разрушение конструкции. В основном, ресурс резервуара определяется исчерпанием его несущей способности в результате циклического нагружения и появления и развития усталостных трещин. Исключение составляют резервуары, для которых основным повреждающим фактором является коррозионный износ. Это,

например, резервуары, работающие под сырой нефтью и расположенные в районах нефтяных месторождений и имеющих достаточно высокую температуру продукта. Поэтому основная проблема при проведении экспертизы состоит в выявлении в корпусе резервуара дефектов типа трещин, установлении причин появления, методах устранения и прогнозирования остаточного ресурса резервуара.

Основные виды повреждений и дефектов резервуаров [2]:

- коррозионный износ днища изнутри в среде подтоварной воды;
- трещины различной природы (КРН, сварных соединений, усталостные, деформационные);
- дефекты сварных соединений и искажение формы стенки из-за низкого качества монтажа или неправильного выполнения основания;
- расслоение основного металла;
- наличие вмятин и выпучин критических размеров на корпусе, кровле и днище резервуара;
- течь днища.

При сроках эксплуатации резервуаров свыше 15 - 25 лет необходимо иметь достоверные данные о возможности дальнейшей эксплуатации резервуаров, подтверждающие отсутствие опасных повреждений и дефектов.

Проведенные в УГНТУ исследования взаимосвязи потерь перемагничивания и напряженно-деформированного состояния оболочковых конструкций позволили предложить *систему мониторинга напряженно-деформированного состояния оболочковых конструкций*, включающую аппаратные и программные средства, метод магнитного сканирования и технологию проведения работ по диагностированию. *Метод магнитного сканирования оболочковых конструкций*, является основой системы мониторинга оболочковых конструкций и заключается в сканировании объекта контроля матричными, строчными и локальными преобразователями. Аппаратные средства делятся на матричные многоэлементные, строчные и локальные преобразователи потерь перемагничивания. В матричных преобразователях происходит электронное сканирование магнитного поля объекта, поэтому нет необходимости механического сканирования поверхности конструкции.

Аппаратные средства с матричными преобразователями формируют изображение дефектного участка без программных средств. Предложены матричный преобразователь, обеспечивающий повышение эффективности обнаружения дефектов за счет снижения зависимости амплитуды выходного сигнала преобразователя к направлению магнитного поля дефекта [3], матричный преобразователь с повышенной чувствительностью [4], преобразователь с повышенной эффективностью обнаружения дефектов [5], преобразователь с повышенной чувствительностью к поверхностным дефектам, работа которого основана на методе высших гармоник [6]. На рисунке 1 приведено изображение трещины на экране, полученное многоэлементным преобразователем. Недостатком матричных преобразователей является их относительная сложность.

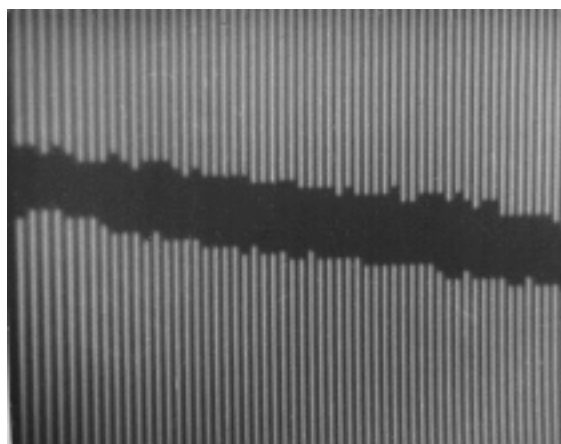


Рисунок 1. Изображение трещины на экране, полученное многоэлементным преобразователем

Строчные преобразователи сочетают в себе и электронное и механическое сканирование поверхности объекта. Вдоль строки происходит электронное сканирование, а при механическом перемещении преобразователя формируется изображение дефектного участка. Наличие программных средств также не требуется, достаточно иметь оперативную память. В преобразователях потерь перемагничивания для получения изображения необходимо осуществлять механическое сканирование в двух координатах, так как преобразователь является локальным. Наличие программных средств обязательно для получения изображения дефекта. При помощи локальных преобразователей потерь

перемагничивания возможно частотное сканирование объектов. Метод магнитного сканирования приведен в таблице 1.

Таблица 1

## Метод магнитного сканирования

	Сканирование матричными многоэлементными преобразователями	Сканирование строчными преобразователями	Сканирование локальными преобразователями потерь перемагничивания
Вид преобразователя	Матричный	Строчный	Локальный преобразователь потерь перемагничивания
Способ сканирования	Электронный	Электронно–механический	Частотный, в сочетании с механическим
Программное обеспечение	нет	нет	обязательно

В метод магнитного сканирования входит метод частотного сканирования, заключающийся в изменении частоты магнитного поля в локальном преобразователе от высоких значений до низких и постепенном перемагничивании участка изделия слой за слоем, тем самым осуществлять частотное сканирование и по потерям перемагничивания получить изображение поперечного сечения контролируемого участка [7].

Для реализации метода частотного сканирования разработаны аппаратные и программные средства. Разработан программно–аппаратный комплекс ПАК–11ПМ, включающий прибор МД–11ПМ [8], механический сканер и программное обеспечение. Прибор МД–11ПМ предназначен для выявления дефектов сплошности и участков с концентраторами напряжения. Механический сканер позволяет сканировать поверхность металлоконструкции возвратно–поступательными движениями и сообщает компьютеру о местоположении датчика с помощью микропереключателей. Программное обеспечение включает драйвер, модуль для работы с прибором, модуль обработки

данных, модуль подготовки матрицы, модуль задания уровня, модуль сечений, модуль визуализации.

На рисунке 2 приведен программно–аппаратный комплекс ПАК–11ПМ.

На рисунке 3 приведено изображение коррозионной язвы, полученное комплексом ПАК–11ПМ. Изображение получено после сканирования поверхности образца гармоническим магнитным полем с помощью локального датчика потерь перемагничивания и применения компьютерной визуализации. Образец с коррозионной язвой взят с реального объекта и представляет собой фрагмент днища резервуара [9].

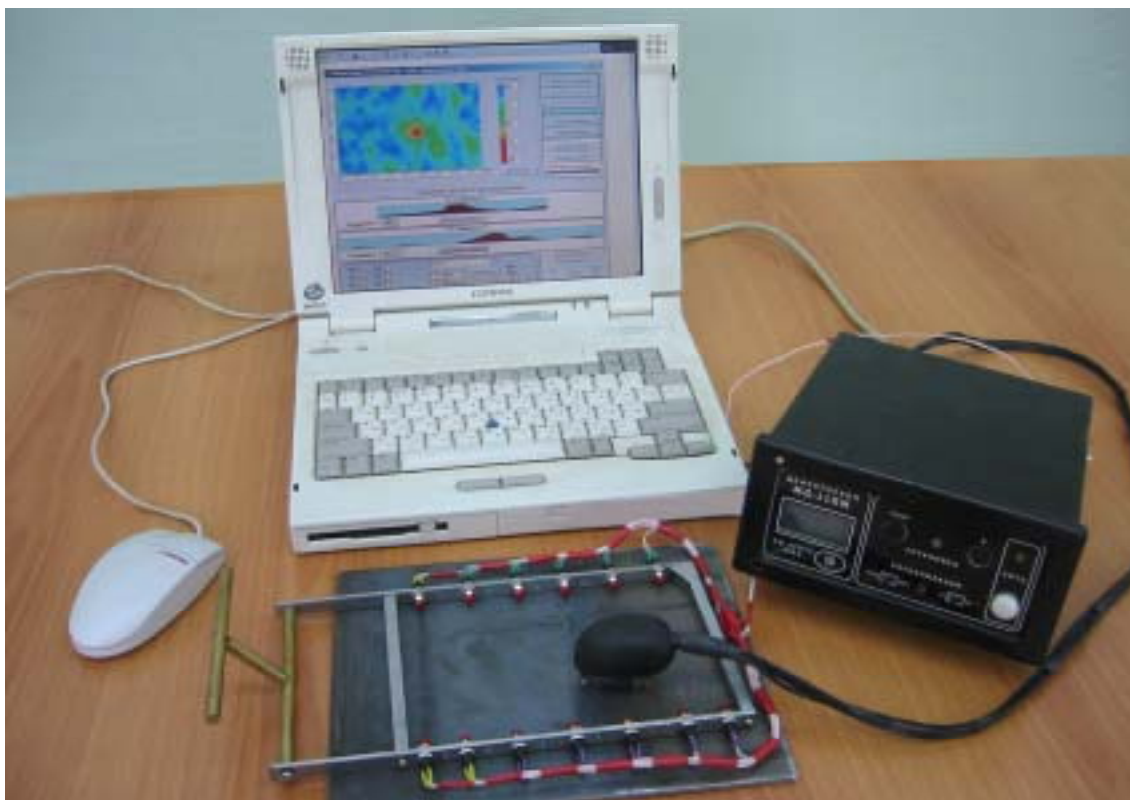


Рисунок 2. Программно–аппаратный комплекс ПАК–11ПМ

На рисунке видна коррозионная язва на фоне общей коррозии. Общая коррозия на полученной картине визуализации – это градиент зелено-желтого цвета, что соответствует уровню сигнала прибора 65 –73 в относительных единицах.

После выполнения программой сечения в координатах  $x = 100$  и  $y = 50$ , получено изображение поперечного сечения образца, где отчетливо видна

картина общей коррозии и на ее фоне – коррозионная язва.

На рисунке 4 приведено изображение дефектного участка, полученное частотным сканированием. Бездефектный участок поверхности конструкции представлен уровнем сигнала 3,9 – 4,0 в относительных единицах, которому соответствует красный цвет. Над дефектом уровень сигнала плавно снижается до 3,6 – 3,7 в относительных единицах, чему соответствует синий цвет.

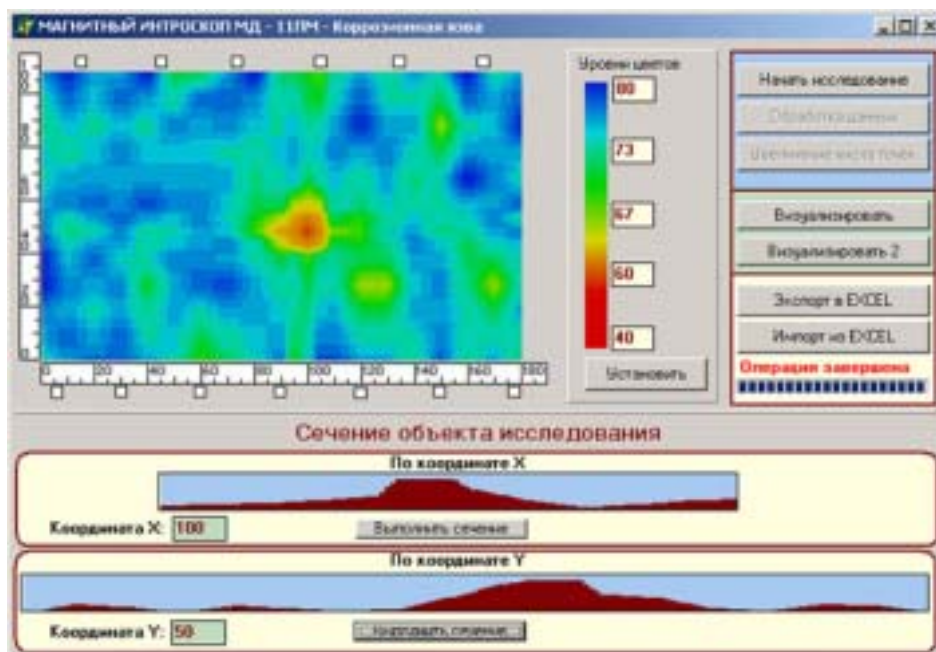


Рисунок 3. Изображение коррозионной язвы, полученное комплексом ПАК–11ПМ

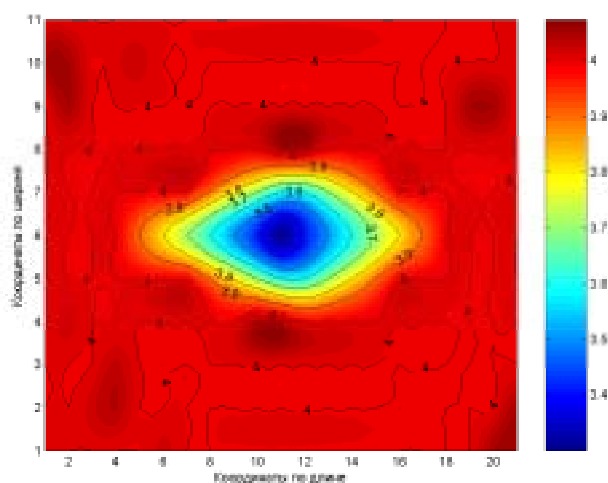


Рисунок 4. Изображение дефектного участка, полученное частотным сканированием

На рисунке 5 приведена развертка резервуара с картой диагностики, иллюстрирующая применение системы мониторинга к различным узлам резервуара. На рисунке 6 приведена технология производства работ по диагностированию резервуаров.

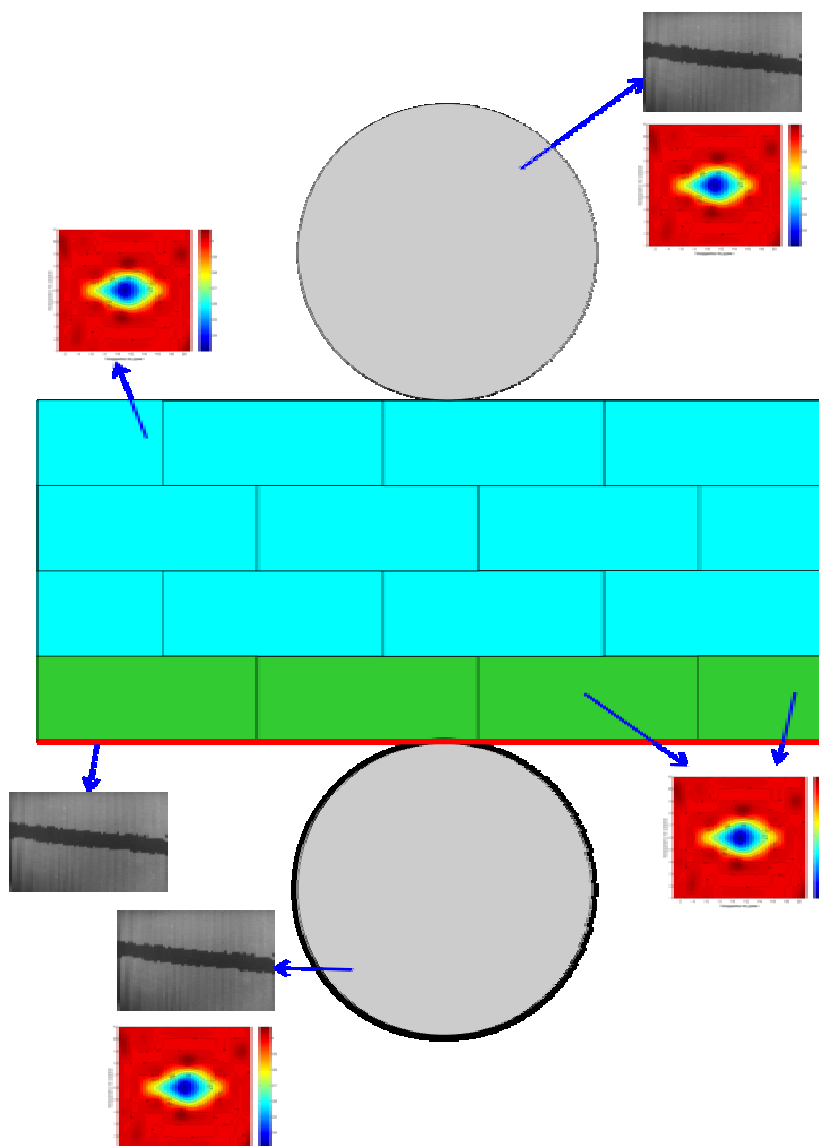


Рисунок 5. Развертка резервуара с картой диагностики

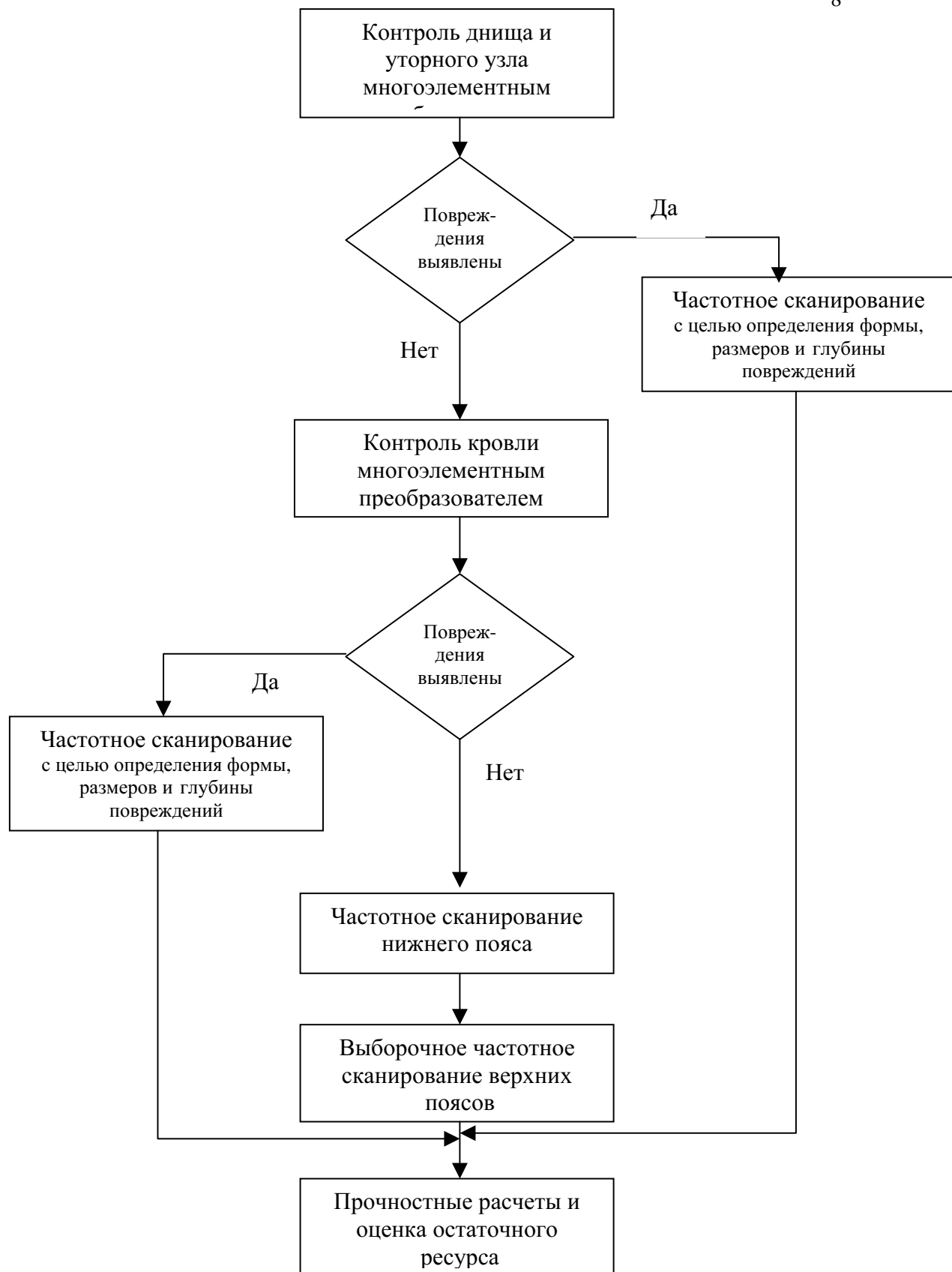


Рисунок 6. Технология производства работ по диагностированию резервуаров



Днище, кровля и уторный узел резервуара контролируются сначала многоэлементным преобразователем. При обнаружении повреждений переходят к частотному сканированию для получения формы, размеров и глубины повреждений. Нижний пояс контролируется частотным методом на предмет выявления коррозионных повреждений, вызванных подтоварной водой. Верхние пояса подвергаются выборочному контролю частотным методом.

Аппаратные и программные средства, реализующие метод магнитного сканирования испытаны и внедрены на различных предприятиях нефтегазовой отрасли.

### Литература

1. Гринько В. С. Сфера особого внимания. Техническое состояние линейной части магистральных нефтепроводов и резервуарных парков. Планы их приведения к нормативному состоянию // Трубопроводный транспорт нефти. – 2001. – № 6. – С. 17–20.
2. Розенштейн И.М. Аварии и надежность стальных резервуаров. – М.: Недра, 1995. – 253с.
3. А.с. № 1370539. МКИ G01 N 27/82. Магнитотелевизионный дефектоскоп / В.В. Ключев, Ю.М. Шкарлет, А.А.Абакумов, Р.Г. Вильданов, К.М. Фаттахов, В. И. Бабакин // Открытия. Изобретения. – 1987.–№ 47.
4. А.с. № 1656443. МКИ G01 N 27/82. Магниточувствительный узел к дефектоскопу / А.А.Абакумов, Р.Г. Вильданов, Ш.Х. Зараев // Открытия. Изобретения. – 1991, –№ 22.
5. А.с. № 1562839. МКИ G01 N 27/82. Магниточувствительный узел для магнитотелевизионного дефектоскопа / Р.Г. Вильданов // Открытия. Изобретения. – 1990.– № 17
6. А.с. №1179201. МКИ G01 N 27/82. Магнитотелевизионный дефектоскоп / В.В. Ключев, Ю.М. Шкарлет, А.А.Абакумов, Р.Г. Вильданов // Открытия. Изобретения. – 1983. – № 4.

7. Вильданов Р. Г. Магнитотелевизионный дефектоскоп. Патент № 1779991 (РФ). МКИ G01 N 27/ 82. // Открытия. Изобретения. 1992, № 45.

8. Магнитный интроскоп для контроля оболочковых конструкций нефтяной и нефтехимической промышленности // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2003. [http://www.ogbus.ru/authors/Vildanov/Vildanov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Vildanov/Vildanov_1.pdf).

9. Ибрагимов И. Г., Вильданов Р.Г. Оценка поврежденности потенциально опасных оболочковых металлоконструкций // Безопасность жизнедеятельности. –2004.– № 8. – С. 12–15.