

УДК 534.8 + 620.179

Опыт применения ультразвуковой экспертной системы с когерентной обработкой данных «Авгур» для контроля сварных швов промышленных объектов.

В.Г. Бадалян, кандидат физ.- мат. наук (ООО НПЦ «Эхо+»)

А.Х. Вopilкин, доктор техн. наук, профессор (ООО НПЦ «Эхо+»)

Введение

Ультразвуковые (УЗ) методы контроля нашли очень широкое применение в различных областях промышленности. Однако наиболее широкое распространение получили методы ручного УЗ контроля, в которых используется обычный эхо импульсный метод. Этот метод неразрушающего контроля имеет ряд существенных недостатков, основными из которых являются:

- 1) Невозможность измерить истинные (а не условные и эквивалентные размеры дефектов как это обычно делается). Это приводит к необоснованно жестким нормам на ультразвуковой контроль и, в результате, к значительному объему ремонта неопасных сварных швов.
- 2) Отсутствие при ручном контроле объективного документа по его результатам приводит к снижению достоверности контроля.

Этих недостатков лишены автоматизированные методы УЗ контроля, использующие различные методы обработки данных, в том числе и когерентные.

Действительно, информационными параметрами ручных методов УЗ контроля являются:

- Наличие несплошности (дефекта),
- Условная длина дефекта,
- Координаты дефекта,
- Амплитуда отраженного сигнала, характеризующая эквивалентную площадь дефекта.

Информационными параметрами методов с когерентной обработкой данные являются:

- Наличие дефекта,
- Длина дефекта,
- Высота и профиль дефекта,
- Координаты дефекта.

Специалистами по прочности разработаны методы расчета прочностного состояния сварных швов и конструкций с учетом влияния дефектов. Имеются утвержденные методики расчетов. Однако, до тех пор, пока отсутствовали средства определения параметров дефектов при УЗК, эти методики практически не использовались. Применение средств, позволяющих определять реальные параметры дефектов, дает возможность специалистам по прочности выполнить оценку ресурса сварного соединения [1].

НПЦ «ЭХО+» совместно со специалистами НИКИЭТ, РНЦ «Курчатовский институт», ВНИИАЭС, ВНИИСТ реализовал комплексный подход к анализу

качества сварных соединений с применением разработанных им систем серии «Авгур». В этих системах используется когерентная обработка сигналов.

Концепция анализа качества сварных швов.

Использование когерентной обработки данных в ультразвуковых компьютерных системах серии «Авгур», позволяет применять комплексную технологию контроля сварных соединений, позволяющую осуществлять анализ качества сварных швов через анализ влияния дефектов на прочность шва.

Сущность данной технологии состоит в следующем:

на первом этапе проводился ручной или автоматизированный УЗК по стандартным методикам контроля с целью поиска дефектов.

Для исключения случаев пропуска опасных дефектов плоскостного типа («недобраковки»), чувствительность фиксации контроля увеличивается в сравнении со стандартными методиками на 6-12 дБ. (В противном случае неблагоприятно ориентированные дефекты могут быть пропущены вследствие низкой амплитуды сигнала).

Если амплитуда эхосигнала от отражателя не достигала уровня фиксации, то шов признавался годным и пропускаясь в эксплуатацию.

на втором этапе проводится автоматизированный экспертный УЗК с помощью систем серии «Авгур» с целью определения типа и размеров дефектов. Экспертному контролю подвергались те швы, в которых при ручном контроле были обнаружены отражатели с амплитудой эхо-сигналов достигающей уровень фиксации.

Экспертный УЗК характеризуется использованием методов когерентной обработки данных, что значительно повышает чувствительность и разрешающую способность контроля.

Затем проводилась обработка данных автоматизированного экспертного контроля с целью получения трехмерных изображений несплошностей. По этим изображениям, после обработки и анализа данных, составлялись заключения о размерах и типе дефектов и несплошностей.

Важной особенностью контроля с помощью компьютерных автоматизированных систем УЗК является долговременное хранение данных контроля, которые могут быть во время хранения извлечены для просмотра или повторного анализа. Такая возможность в системе «Авгур 4.2» позволяет проводить очень детальный сопоставительный анализ данных измеренных в разное время. Это открывает возможности слежения за возможным развитием несплошностей, обнаруженных ранее.

на третьем этапе информация о параметрах дефектов использовалась для прочностного расчета ресурса работы сварного шва с учетом других характеристик, влияющих на ресурс. Если по расчетам запас прочности таков, что имеется возможность дальнейшей эксплуатации, шов допускается в работу оборудования. В противном случае шов отправляется в ремонт.

Данная концепция ультразвукового диагностирования с использованием систем серии «Авгур» позволяет:

- значительно повысить надежность выявления дефектов различного типа за счет более высокой чувствительности контроля;
- составить базу данных о наличии в сварных швах различного рода допустимых несплошностей (осуществить паспортизацию швов);

- осуществлять эксплуатацию оборудования с «непроходными» (по действующим нормам) дефектами благодаря возможности оценки ресурса работы сварной конструкции по установленным размерам несплошностей и параметрам напряженного состояния;
- проводить мониторинг за развитием дефектов в процессе эксплуатации объектов,
- существенно сократить объемы ремонтных работ.

Обобщенный алгоритм технологии комплексной диагностики показан на Рис. 1.

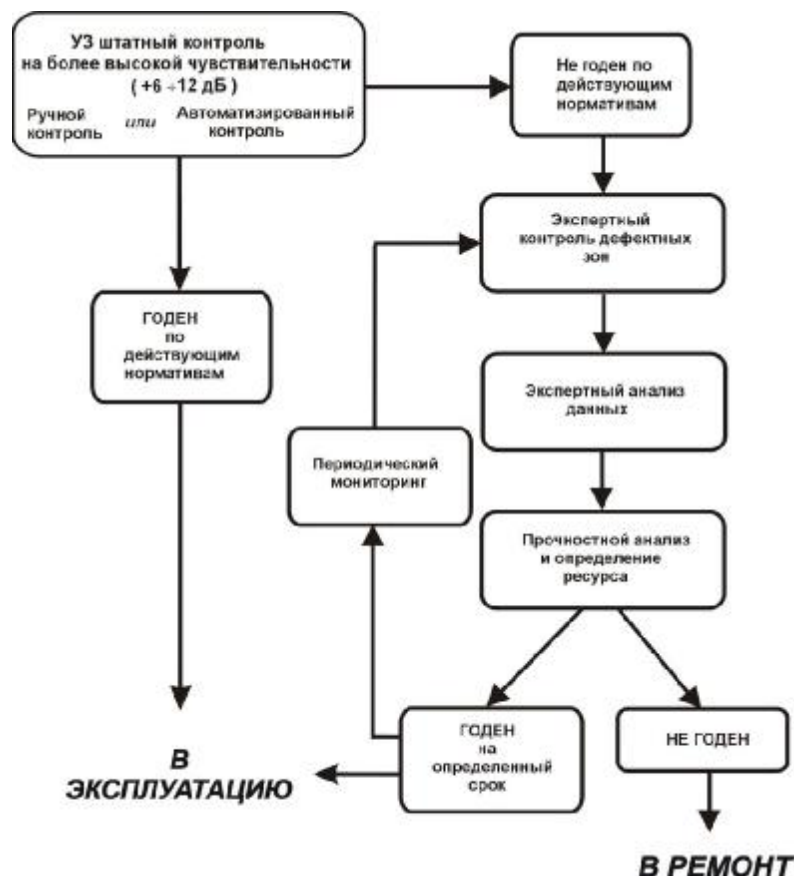


Рис.1. Алгоритм комплексного анализа прочности сварного шва.

Для реализации рассмотренной выше методики контроля НПЦ «Эхо+» разработал и поставил на несколько Российских АЭС системы серии Авгур, провел обучение специалистов станции и совместно с ними в течение нескольких лет осуществляет экспертный контроль сварных швов, забракованных по результатам штатного контроля. Кроме того, НПЦ «Эхо+» выполняет большой объем экспертного контроля в нефтегазовом комплексе.

В работе [2] приведено описание системы Авгур, а также даны ее характеристики.

Особенности систем серии Авгур.

В системах серии Авгур используется когерентная обработка данных зарегистрированного импульсного УЗ поля, рассеянного дефектами [3].

Алгоритм обработки – многочастотная акустическая голография – аналогичен методу FT-SAFT. При этом используются амплитудные и фазовые характеристики зарегистрированного УЗ поля. Поэтому, системы серии Авгур позволяют получить ультразвуковое изображение дефекта в высоком разрешении.

Промежуточным результатом экспертного контроля является изображение дефектов анализ которых заканчивается составлением протокола экспертного контроля, в котором отражен тип несплошности, координаты ее залегания.

На рис. 2 в качестве примера приведены изображения трещины, в сварном шве трубопровода из перлитной стали внешним диаметром 890 мм с аустенитной наплавкой.

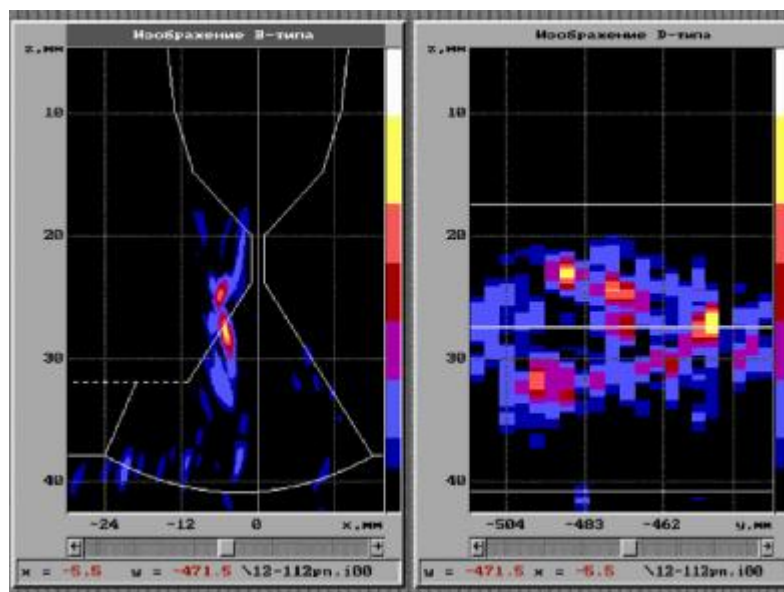


Рис.2 Изображение трещины в трубопроводе из перлитной стали диаметром 890 мм x 35 мм.

Здесь приведены изображения дефекта В – и D – типов, а также вид контролируемого сварного шва. Хорошо видно, что дефект локализован на границе основной металл – сварной шов, легко определить высоту дефекта в заданном сечении по положению максимумов темных пятен, которые показывают местоположение верхнего и нижнего концов трещины. Профиль дефекта хорошо виден на изображении D – типа.

Важнейшими особенностями полученных изображений является то, что:

- Изображения весьма устойчивы к локальным нарушениям акустического контакта. Это связано с тем, что построение изображения осуществляется не по отдельным реализациям рассеянного УЗ поля (отдельным А- сканам), а по набору А- сканов,
- Характеристики изображений, по которым определяются параметры дефектов, слабо зависят от амплитуды принятых данных, так как в их фазе содержится более, чем на 70% информации больше, чем в амплитуде [4].

Эти особенности систем с когерентной обработкой данных позволяет получать хорошо воспроизводимые результаты не только для идеальных,

но и реальных поверхностей контролируемого изделия. Кроме того, появляется возможность реализовать многократный контроль изделий в процессе их эксплуатации, осуществляя наблюдение за параметрами дефектов при мониторинге контролируемых изделий.

На рис. 3 приведены результаты периодического контроля сварного шва трубопровода из нержавеющей стали диаметром 325 мм в 1998-2000 гг. с использованием системы Авгур.

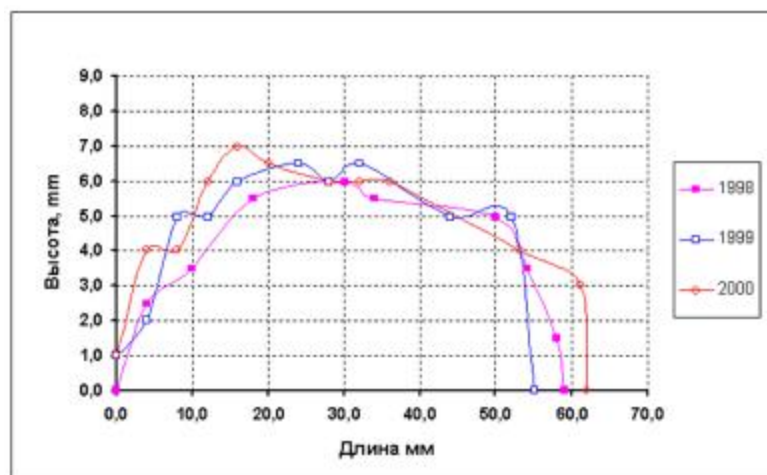


Рис.3 Профиль дефекта поперечного сварного шва при периодическом контроле в 1998 – 2000 гг.

Экспертный контроль на АЭС

В 1996- 2002 гг. комплексная технология неразрушающего контроля была успешно применена при контроле трубопроводов различных диаметров в атомной энергетике как для действующих АЭС, так и на строящейся Ростовской АЭС (1999 – 2000 гг.), строящемся блоке Калининской АЭС (2002) [5,6].

На действующих АЭС: основными объектами эксплуатационного контроля являлись перлитные сварные швы трубопроводов первого контура Ду 800 и аустенитные швы трубопроводов первого контура Ду 300 реакторов РБМК на Смоленской и Курской АЭС. Основной целью контроля являлось не только первичная оценка надежности сварных соединений, но также и слежение за параметрами дефектов, обнаруженных в прежние годы.

На рис. 4 приведены данные об общем числе сварных швов трубопровода первого контура охлаждения реактора РБМК. Экспертному контролю подвергались сварные швы, забракованные по результатам штатного ручного контроля.

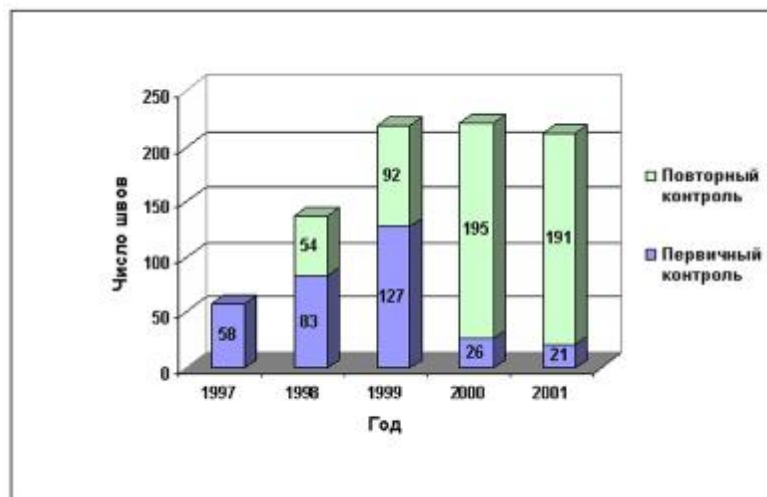


Рис.4 Общее число сварных швов диаметром 325x15 мм, проконтролированных системой Авгур.

Из рис. 4 видно, что в 1997 – 1999 гг. объем швов, подлежащих первичному контролю, увеличивался, а затем стал уменьшаться. Одновременно, начиная с 1998 г. неуклонно возрастала доля повторного контроля. Это связано с тем, что к 2000 г. все сварные швы, подозрительные на содержание дефектов, были проконтролированы системой Авгур. В дальнейшем осуществляется повторный экспертный контроль.

На I блоке Смоленской АЭС с 1996 года НПЦ «Эхо+» совместно со специалистами атомной станции проводит периодический контроль несплошностей, обнаруженных в аустенитных ремонтных заварках трубопроводов Ду800. Всего «подозрительных» заварок насчитывается около 50 штук. За весь период мониторинга, который для большинства несплошностей составил уже 5 лет, не было обнаружено роста несплошностей. Это позволяет специалистам по прочности рассматривать возможность увеличения периода обследования данных сварных соединений.

В 1998 – 2000 гг. был выполнен обширный цикл работ по предпусковому контролю трубопроводов I-го и II-го контуров Ростовской АЭС. Было проконтролировано по этой технологии свыше 260 сварных шва, в которых по данным штатного контроля имелись несплошности. При этом 157 сварных соединений имелись несплошности. Прочностные расчеты показали, что только 3 сварных соединения требуют ремонта, остальные имеют допустимые в эксплуатации несовершенства конструкции.

На рис. 5 приведена классификация несплошностей по результатам контроля на РосАЭС в 2000 г.

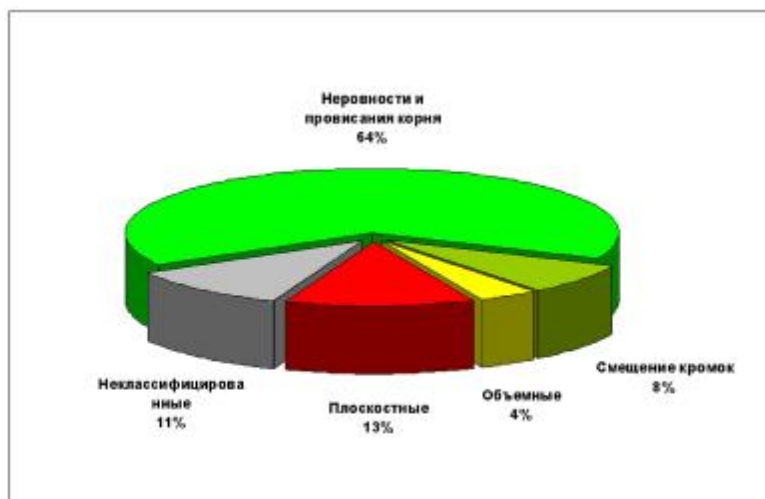


Рис.5 Классификация несплошностей по результатам экспертного контроля на Ростовской АЭС в 2000 г.

Наиболее характерными дефектами, составляющими 72% всех изученных швов являются смещение кромок труб (до 2,5 мм), либо незначительные провисания в корне шва.

В 11% сварных швов не удалось классифицировать дефекты, и при выполнении прочностных расчетов эти дефекты считались плоскостными.

Главный результат этой работы состоит в том, что впервые получена полная информация о первоначальном состоянии сварных швов первого и второго контура реактора, которая дала возможность проводить мониторинг развития дефектов в процессе эксплуатации АЭС. В 2002 г. НПЦ «Эхо+» проводил повторный экспертный контроль этих швов

Экспертный контроль нефтепроводов.

В 2001 - 2002 гг. комплексная технология неразрушающего контроля была успешно применена при контроле технологических нефтепроводов различных диаметров [7]. На Рис.6 приведено относительное количественное распределение типов дефектов, обнаруженных в кольцевых сварных швах, подвергнутых экспертному контролю.

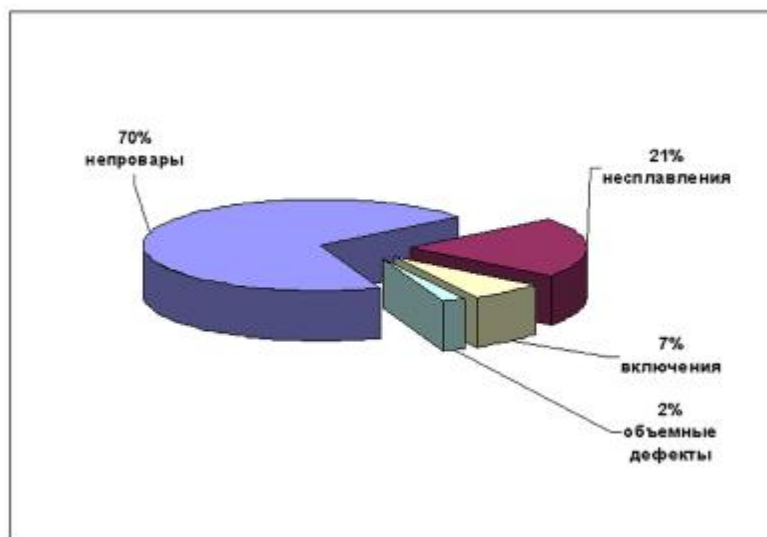


Рис. 6 Распределение типов дефектов, обнаруженных в кольцевых сварных швах, по результатам экспертного контроля технологических нефтепроводов.

Из этой диаграммы видно, что 70% обнаруженных дефектов является непроварами различного вида (в корне, по кромке,). 21% - различные виды несплавлений (межваликовое, по границе разделки сварного шва), 9% дефектов составляли включения и объемные несплошности. Основываясь на полученных данных экспертного УЗК можно сделать вывод о том, что подавляющая часть обнаруженных дефектов появилась в сварных швах в процессе монтажа трубопровода.

На Рис. 7 приведено распределение размеров дефектов, обнаруженных в кольцевых сварных швах нефтепроводов, подвергнутых экспертному контролю.

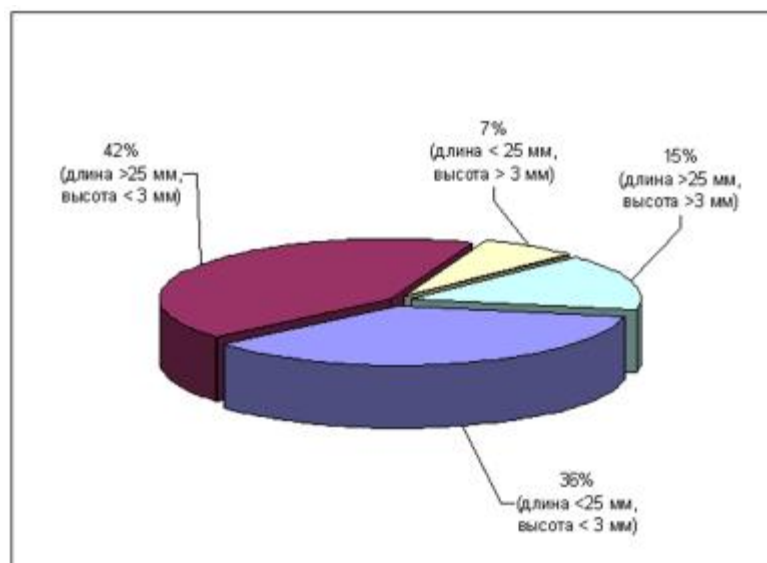


Рис. 7 Распределение размеров дефектов, обнаруженных в кольцевых сварных швах, по результатам экспертного контроля технологических нефтепроводов.

Из этой диаграммы видно, что большинство - 42% обнаруженных дефектов имеют незначительные размеры (их длина не превышает 25 мм, а высота 3 мм). Также в сварных швах имеется значительное число - 36% протяженных дефектов (длина более 25 мм), высота которых не превышает 3 мм. 22% дефектов имеют высоту превышающую 3 мм, из них являются протяженными 15% дефектов.

Все сварные швы, содержащие дефекты, были подвергнуты прочностным расчетам, которые и подавляющее их число было допущено к эксплуатации без ограничений. Около 5% сварных соединений требуют периодического экспертного контроля.

Выводы.

1. Применение вышеописанной технологии комплексной оценки состояния сварных швов позволяет существенно сократить объем необоснованного ремонта швов вследствие знания степени их опасности и тем самым сократить затраты на ремонт.
2. Использование автоматизированных систем Авгур позволяет, свести к минимуму недостатки, присущие ручному контролю, обеспечить 100% объем контроля, документирование результатов. Повысить эксплуатационную надежность промышленных изделий за счет исключения наиболее опасных дефектов, пропускаемых при штатном контроле.
3. Применение вышеописанной технологии с использованием систем серии Авгур дает возможность следить за дефектом, анализировать его развитие в процессе эксплуатации и планомерно готовить ремонт швов.
4. Применение системы Авгур на стадии строительства промышленного объекта позволяет, получить УЗ «портрет» ответственных сварных соединений, в дальнейшем осуществлять их мониторинг в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. **Бадалян В.Г., Вopilкин А.Х., Тихонов Д.С.** Новый подход к ультразвуковому неразрушающему автоматизированному контролю ответственных сварных соединений// Контроль. Диагностика. 1999 №10. С. 23-31.
2. **Бадалян В.Г., Вopilкин А.Х.** Компьютерные системы ультразвукового неразрушающего контроля // Дефектоскопия. 1993. № 5. С.7-13
3. **Бадалян В.Г., Базулин Е.Г.** Цифровое восстановление изображений рассеивателей методом проекции в спектральном пространстве // Акустический журнал. Т.XXXIV. № 2. 1988 С. 222-231
4. **N.C.Gallagher,** Optimum quantization and relative information content of holographic magnitude and phase, Acoustical imaging and holography. V.1, 1969, № 2 P. 119-132.
5. **Бадалян В.Г., Вopilкин А.Х.** Опыт применения ультразвуковой системы с когерентной обработкой данных «Авгур» на российских АЭС // Контроль. Диагностика, №9, 2000 С. 35-39.
6. **Воронков В. А., Тихонов Д.С.** Контроль высокого разрешения (штатно-экспертный контроль трубопроводов первого и второго

контуров строящейся Ростовской АЭС // Доклад на 17 Петербургской Конференции УЗДМ – 2001 , 6 – 8.06.2001 Санкт-Петербург -Репино.

7. **Вопилкин А. Х., Гребенников Д. В., Гиллер Г. А., Толчанов Д.А.** Опыт применения компьютерных систем серии Авгур при ультразвуковом контроле технологических нефтепроводов.// Доклад на 16 Российской науч.-тех. Конференции» Неразрушающий контроль и диагностика», 9 – 12.09.2002 Санкт-Петербург.