

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КОЛЬЦЕВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АВГУР-ТФ

### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

#### Назначение системы

Система автоматизированного ультразвукового контроля **АВГУР-ТФ** (далее по тексту - система) предназначена для проведения автоматизированного ультразвукового контроля (АУЗК) кольцевых сварных соединений и основного металла трубопроводов в процессе монтажа и эксплуатации с измерением координат, размеров дефектов и амплитуд сигналов от них.

Внешний диаметр сварных соединений от 57 мм до плоскости (определяется типом сканирующего устройства).

Толщина сварных соединений, мм:  $4 \div 40$ .

Материал свариваемых деталей: стали углеродистые, низколегированные, низколегированные теплоустойчивые, а также стали мартенситно-ферритного, аустенитного и аустенитно-ферритного классов.

Сварные соединения выполнены всеми видами автоматической, полуавтоматической и ручной электродуговой и аргонодуговой сваркой плавлением.

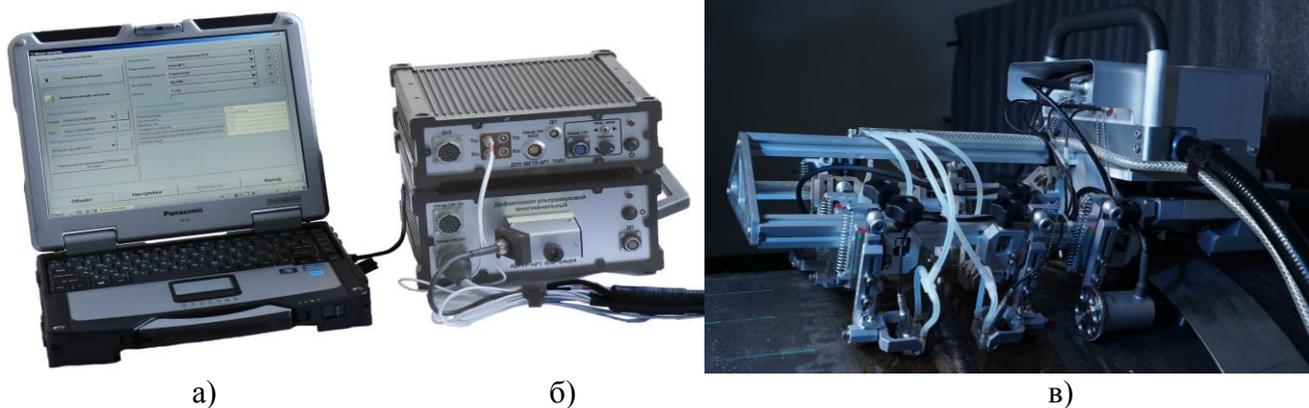


Рис.1 – Дефектоскоп АВГУР-АРТ с управляющим компьютером и однокоординатным сканером

#### Методы контроля сварных соединений

В системе реализованы акустический эхо- и теневой методы ультразвукового контроля с использованием технологий:

- фазированной антенной решетки (ФАР);
- цифровой фокусировки антенны (ЦФА);
- дифракционно-временной метод (ДВМ (TOFD)).

Применение технологии ФАР позволяет реализовать в системе:

- секторное сканирование с возможностью фокусировки по: глубине, смещению, радиусу (рис. 2, рис. 3 а);
- линейное электронное сканирование группой элементов по всей апертуре антенной решетки (рис 3 б);
- зональный контроль сварного соединения (рис. 3 в);
- автоматическое слежение за качеством акустического контакта между поверхностью объекта контроля и призмами с установленными на них антенными решетками

Контроль сварных соединений выполняется антенными решётками, расположенными с обеих сторон сварного соединения и обеспечивающих: секторное сканирование с фокусировкой

по границе сплавления наплавленного металла сварного соединения и основного металла, зональную фокусировку, ЦФА. Для надежного обнаружения вертикальных плоскостных дефектов в системе реализован контроль методом TOFD (рис. 4).

Метод ЦФА (рис. 5) и её многосхемный вариант Multi-ЦФА позволяет реализовать все преимущества антенных решеток для получения изображений самого высокого качества (рис. 6). Применение ЦФА, особенно в многосхемном режиме, использует для получения изображений существенно больший объем данных (чем в режиме ФАР), поэтому в практическом контроле этот способ получения изображений может применяться пока только как экспертный уточняющий режим, используемый при необходимости.

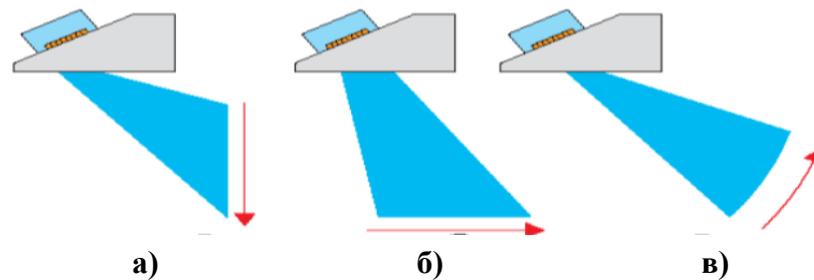


Рис. 2 – Секторное сканирование а) с фокусировкой по смещению, б) с фокусировкой по глубине, в) с фокусировкой по радиусу.

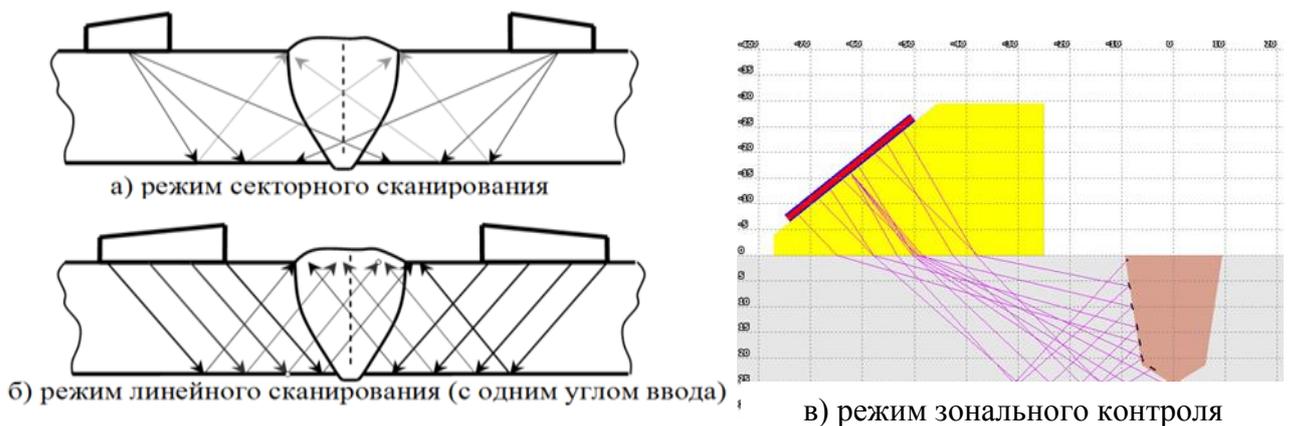


Рис. 3 – Реализуемые антенными решетками способы контроля сварного соединения а) сеторное сканирование, б) линейное сканирование одним углом ввода, в) зональный контроль

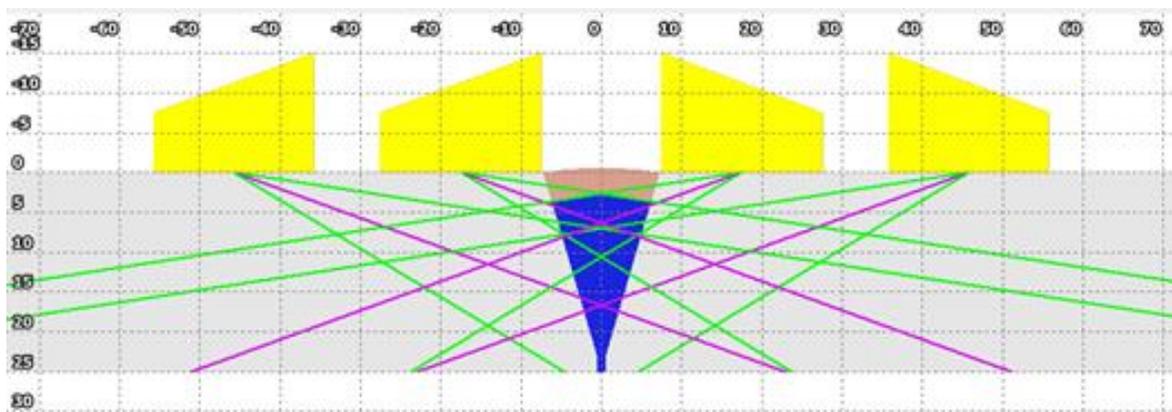


Рис. 4 – Схема контроля методом TOFD

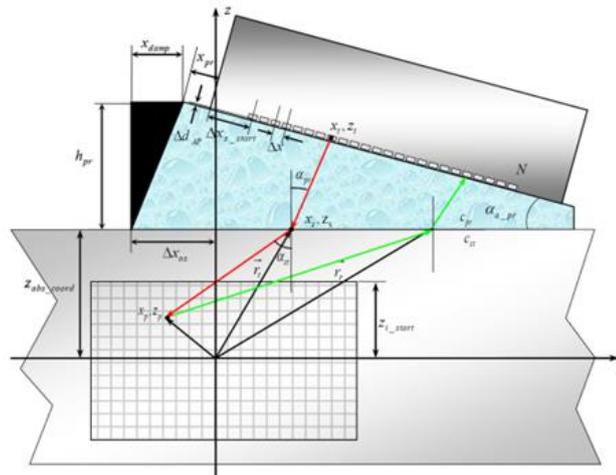


Рис. 5 – Технология контроля методом ЦФА

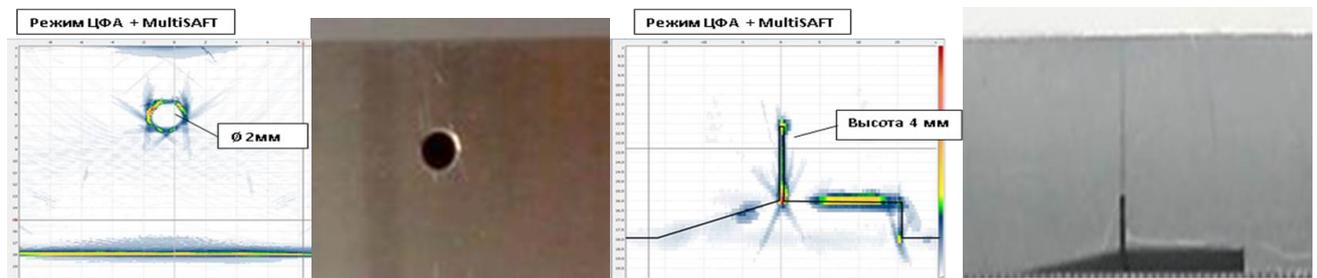


Рис. 6 – Multi-ЦФА изображения моделей дефектов

### Описание состава системы

Полный состав Система состоит из:

- Дефектоскопа ультразвукового многоканального ДУМ АВГУР-АРТ 64x64 с модулем TOFD (ДУМ) (рис. 1 б), обеспечивающего работу в режимах ультразвуковой фазированной решетки (режим ФАР) или цифровой фокусировки антенны (режим ЦФА и Multi-ЦФА), в каждом из указанных режимов дополнительно возможно применение контроля методом TOFD. ДУМ управляет движением сканирующим устройством (рис. 1 в) в процессе АУЗК сварных соединений и передачу зарегистрированных эхо-сигналов в программное обеспечение (ПО) АВГУР-ТФ, установленного на управляющем компьютере (рис. 1 а). Управление ДУМ выполняется от (ПО) АВГУР-ТФ.

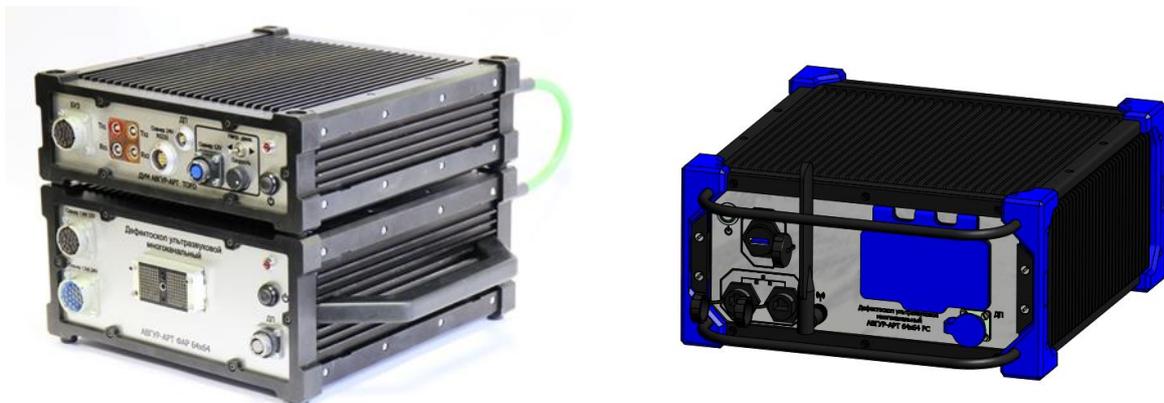


Рис. 7 – Дефектоскоп ультразвуковой многоканальный в исполнении для размещения в автотранспорте (артикул D0180001), и портативный варианта на аккумуляторах (артикул D0190003)

- **Управляющего компьютера.** По желанию Заказчика управляющий компьютер может быть поставлен в защищенном исполнении и с расширенным температурным диапазоном.



Рис. 8 – Управляющий компьютер (в виде защищенного ноутбука, в виде защищенного планшета)

- **Комплекта программного обеспечения (артикул SW0180003)** (Редактор схем контроля (Рис. 9), Регистрация данных (Рис. 10), Анализ данных (Рис. 11). ПО АВГУР-ТФ, предустановлено на управляющий компьютер, осуществляет управление работой системы, сбор, систематизированное долговременное хранение и обработку данных с использованием алгоритма C-SAFT, расчета законов фокусировки, визуализацию данных и предоставляет функции по анализу данных и автоматизации подготовки протокола контроля. Программа «Регистрация данных» предназначена для настройки параметров контроля, управления сканерами, записи исходных данных контроля в общую базу данных системы. Программа «Анализ данных» предназначена для обработки данных контроля из базы данных системы, визуализации изображений несплошностей, анализа результатов контроля и подготовки итогового заключения по результатам контроля. Пример заключения контроля, автоматически сформированный этой программой, приведен на рис. 12. Программа «Редактор схем контроля» предназначена для расчета законов фокусировки антенных решёток с учетом геометрии сварного соединения, а также для расчета параметров контроля методом TOFD.

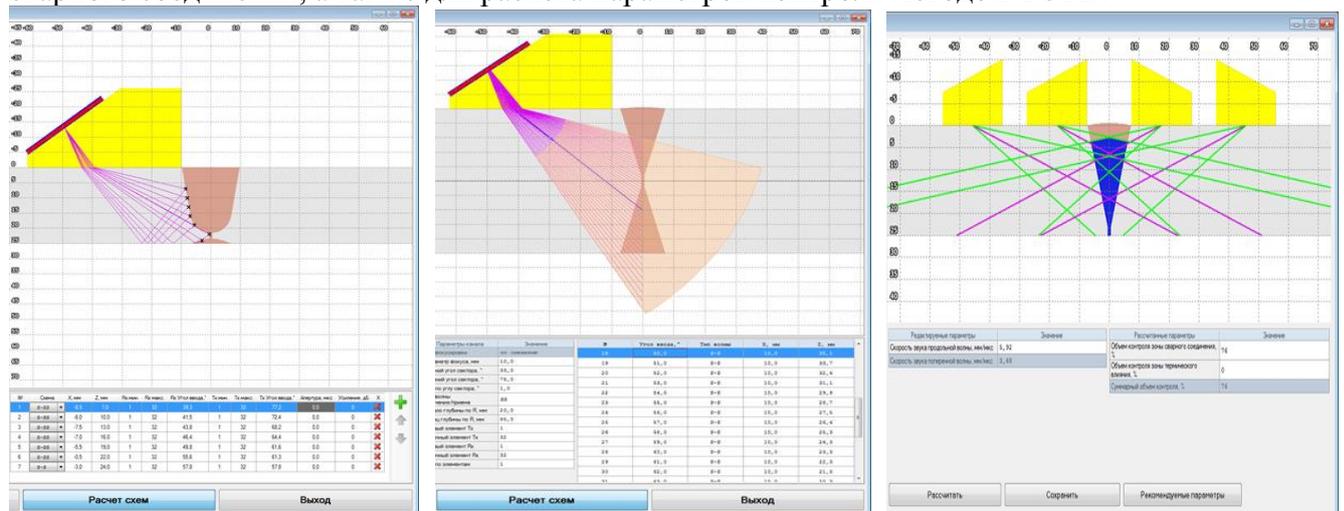
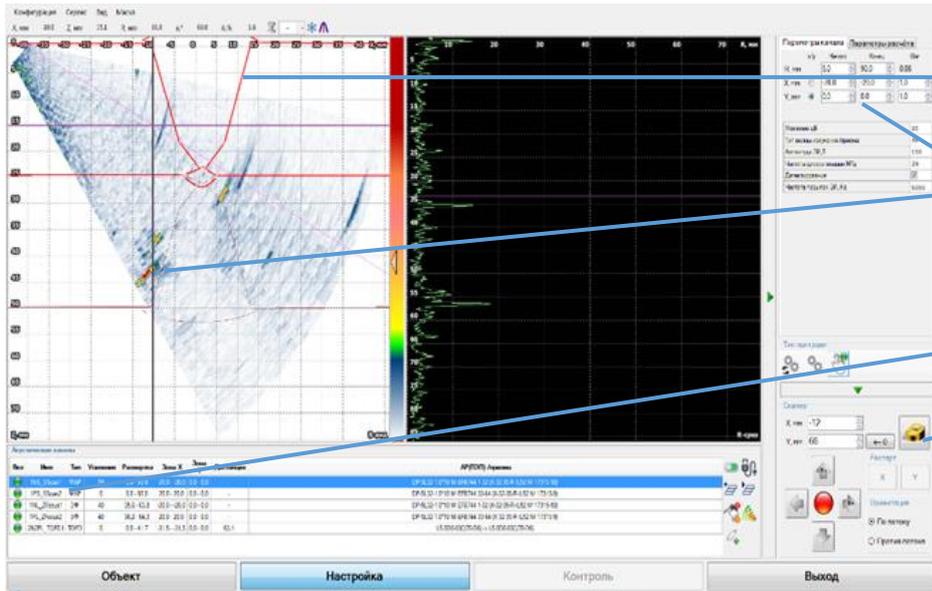


Рис. 9 – Редактор схем контроля: а) окно расчета параметров зонального контроля, б) окно выбора параметров секторного / линейного сканирования, в) окно расчета параметров контроля методом TOFD.



- Наложение эскиза объекта контроля
- Задание параметров сканирования
- Настройка чувствительности на эталонных отражателях
- Настройка слежения за акустическим контактом
- Калибровка сканера

а) окно настройки параметров контроля



б) окно регистрации данных

Рис. 10 – Программа регистрация данных а) окно настройки параметров контроля, б) окно регистрации данных.

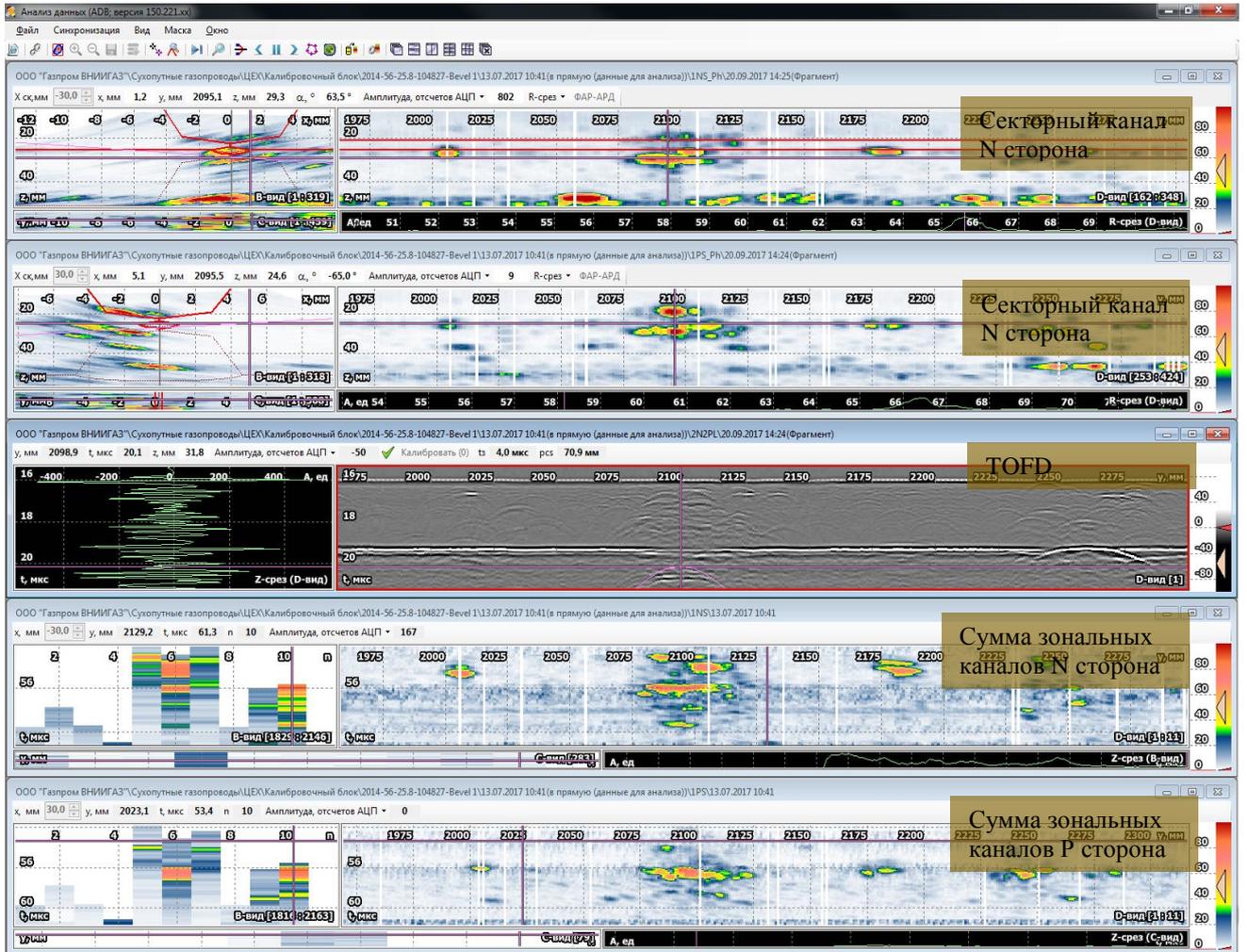


Рис. 11 – Представление результатов контроля в программе Анализ данных

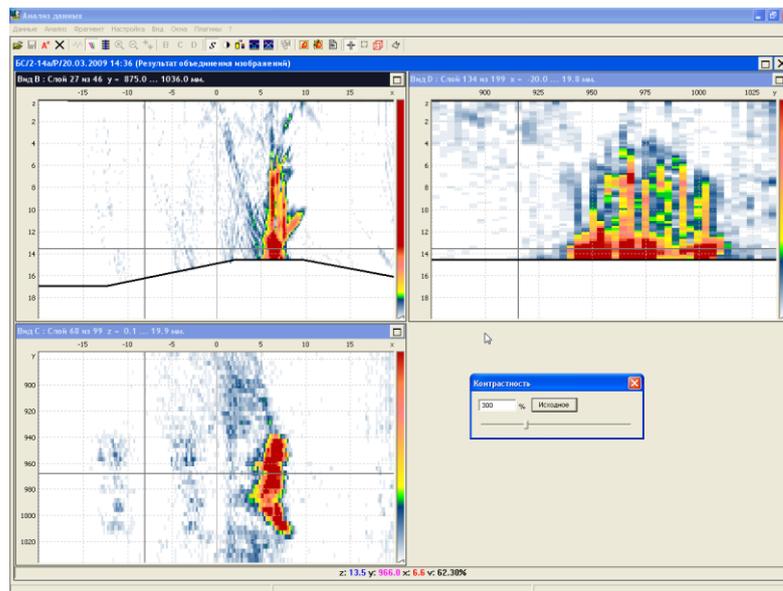


Рис. 12 – Три проекции изображения трещины в сварном соединении трубы (В-, С- и D-вид) полученного в режиме Multi-ЦФА системой АВГУР-ТФ

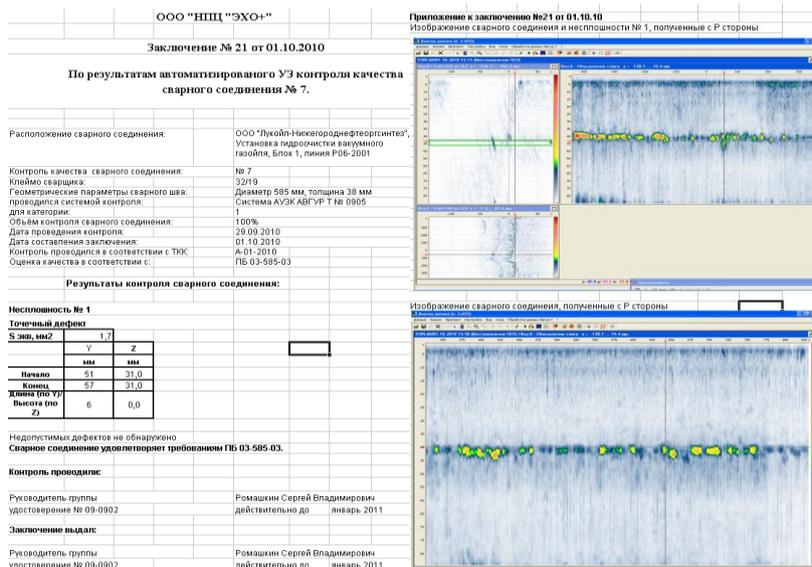


Рис. 13. Формируемый программой «Анализ данных» протокол контроля

- **Комплекта АВИК.** Предназначен для автоматизированного визуально-измерительного контроля сварных соединений. Модуль лазерного измерителя (артикул S0180032) (Рис. 14) с помощью кронштейна крепления (S0180033) устанавливается на раму сканера или планку установки преобразователей. Питание лазерного измерителя и передача результатов измерения в программное обеспечение для сбора и обработки данных АВИК, установленное на управляющем компьютере (SW0180004) выполняется по кабелю подключения модуля лазерного измерителя (S0180034).

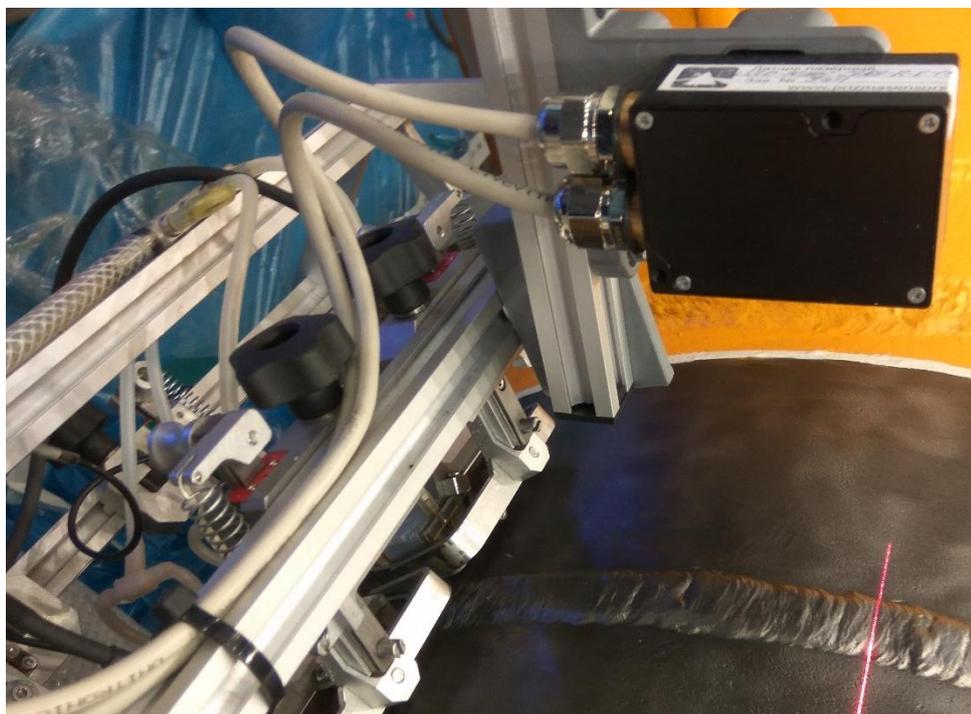


Рис. 14 – Лазерный модуль, установленный на раме сканера СК.ТФ.К

**Комплекта сканера СК.ТФ.К (сканер трековый).** Предназначен для проведения АУЗК кольцевых сварных соединений диаметром от 159 мм до 1420 мм методами ФАР, зональной

фокусировки, TOFD и ЦФА. В процессе АУЗК сканер (S0180022) перемещает вокруг сварного соединения антенные решетки, установленные на призмы, преобразователи TOFD, установленные на призмы, и лазерный АВИК модуль. Призмы антенных решеток и преобразователей TOFD, устанавливаются в соответствующие прижимы, которые размещаются на раме сканера, установленной на механизм санирования. В комплект сканера входит два прижима для антенных решеток и четыре прижима для преобразователей TOFD. Перемещение механизма сканирования осуществляется по кольцевому треку, предварительно установленному рядом со сварным соединением. В комплект сканера входят треки для установки на трубопроводы диаметром: 159 мм; 219 мм; 273 мм; 325 мм; 426 мм; 530 мм; 720 мм; 1020 мм; 1220 мм; 1420 мм. Применение кольцевого трека обеспечивает прямолинейность траектории сканирования и точность позиционирования преобразователей и антенных решеток относительно сварного соединения, необходимую для АУЗК методом зональной фокусировки. На рисунке 1 в представлен сканер в сборе установленный на трек на трубе. Сканер подключается к ДУМ одним кабелем, имеющим неразъемное соединение с механизмом сканирования. Синхронизация измерений с пройденным путем выполняется по сигналам с датчика пройденного пути, установленного на раму сканера (S0160063).

Сканер может поставляться с кабелями длиной 15 м или 25 м в бронированной или полимерной внешней оболочке.

Кабель сканера в бронированной защитной оболочке длиной 15 м (в составе сканера) КСК.ТФ.К	1 из вариантов	S0180040
Кабель сканера в бронированной защитной оболочке длиной 25 м (в составе сканера) КСК.ТФ.К		S0180041
Кабель сканера в полимерной оболочке длиной 15 м (в составе сканера) КСК.ТФ.К		S0180042
Кабель сканера в полимерной оболочке длиной 25 м (в составе сканера) КСК.ТФ.К		S0180043

**- Комплекта сканера СК.ТФ.М (сканер на магнитных колесах).** Предназначен для проведения АУЗК кольцевых сварных соединений диаметром от 114 мм до 1420 мм методами ФАР, TOFD и ЦФА. В процессе АУЗК сканер (S0180045, Рис. 15) перемещает вокруг сварного соединения антенные решетки, установленные на призмы, преобразователи TOFD, установленные на призмы, и лазерный АВИК модуль. Призмы антенных решеток и преобразователей TOFD, устанавливаются в соответствующие прижимы, которые размещаются на планках, установленных на механизм санирования. В комплект сканера входит два прижима для антенных решеток и четыре прижима для преобразователей TOFD. Перемещение механизма сканирования осуществляется по поверхности объекта контроля на магнитных колесах. С целью уменьшения отклонений траектории движения сканера на магнитных колесах от прямолинейной могут применяться направляющие треки. В комплект сканера входят направляющие треки для установки на трубопроводы диаметром: от 114 мм до 120 мм; от 159 мм до 170 мм; от 219 мм до 230 мм; от 270 мм до 280 мм; от 320 мм до 330 мм; от 400 мм до 410 мм; от 426 мм до 570 мм; от 630 мм до 770 мм; от 820 мм до 960 мм; от 1020 мм до 1160 мм; от 1220 мм до 1360 мм; 1420 мм. Сканер подключается к ДУМ одним кабелем. Синхронизация измерений с пройденным путем выполняется по сигналам с датчика пройденного пути, установленного на раму сканера (S0160063). Входящий в комплект сканера лазерный модуль (S0160066) предназначен для отслеживания отклонения траектории движения сканера от разметочной линии.

Сканер может поставляться с кабелями длиной 15 м или 25 м.

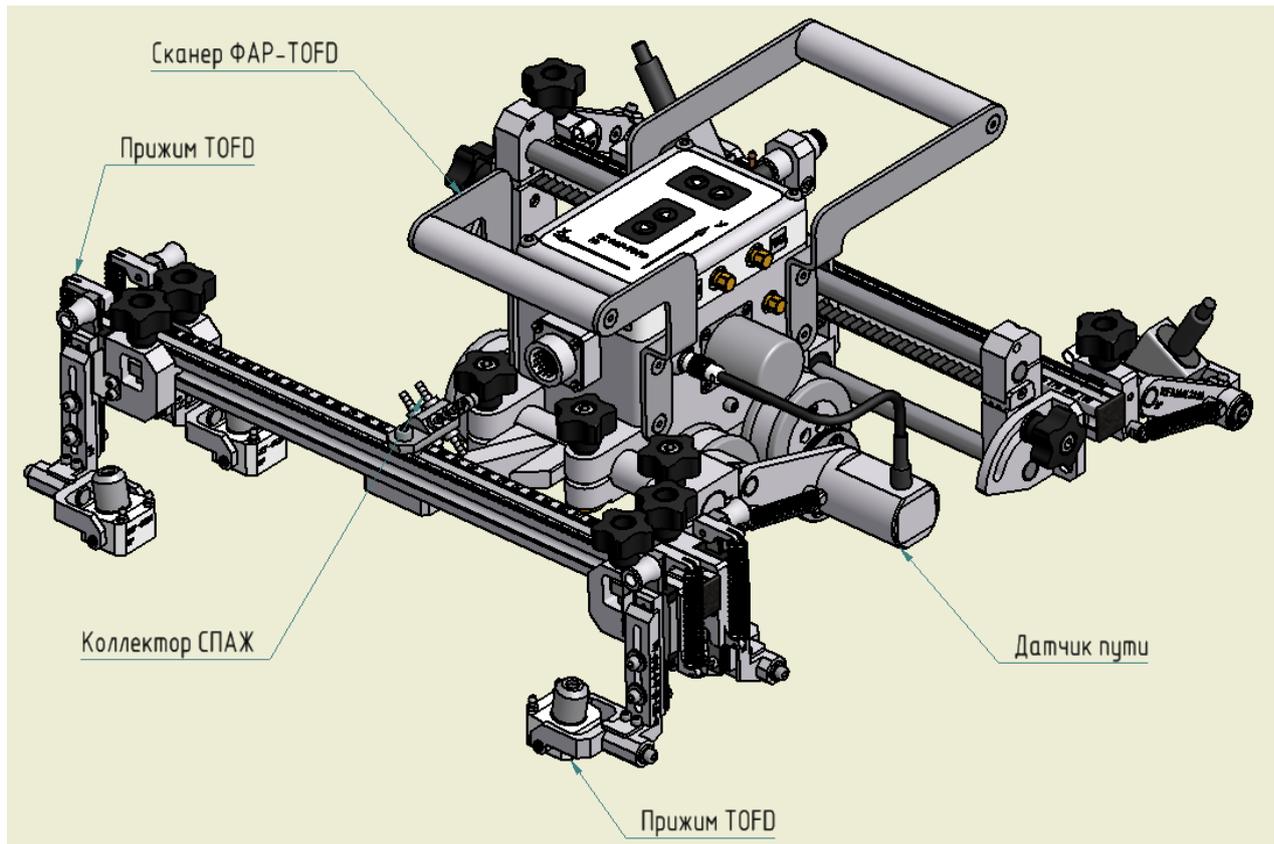


Рис. 15 – Сканер на магнитных колесах СК.ТФ.М.

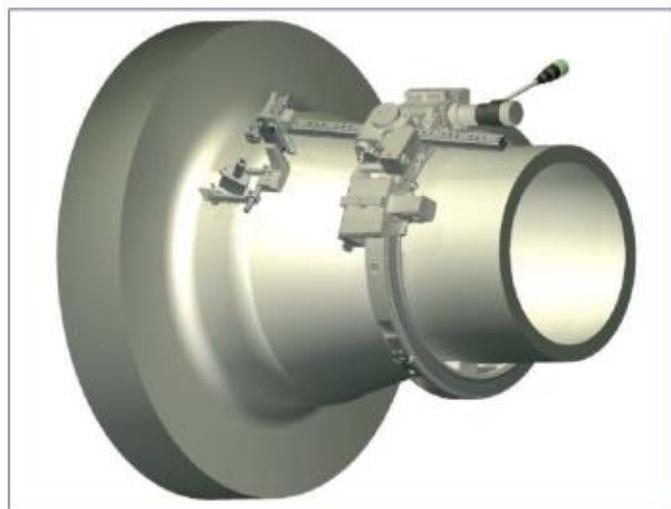
Система может также комплектовать другими типами сканирующих устройств по заявке заказчика

**– Сканера патрубков и фланцев**

Сканер предназначен для АУЗК и МУЗК угловых сварных соединений вварки диаметром от 57 до 426 мм



Версия однокоординатного сканера



Версия двухкоординатного сканера

### – Скандера ШОДС

Скандеры предназначены для МУЗК кольцевых сварных швов малого диаметра от 57 до 325 мм. За счет малой высоты (15 мм) скандер может быть использован в местах с ограниченным доступом.



- **Комплект системы подачи контактной жидкости.** Предназначен для подачи контактной жидкости под рабочую поверхность призм антенных решеток и призм TOFD. Состоит из емкости для контактной жидкости объемом 30 литров или 100 литров по выбору Заказчика. Из емкости по шлангу забора жидкости, закрепленному на емкости, с помощью насоса жидкость забирается. Далее по силиконовому шлангу, идущему параллельно кабелю скандера, жидкость поступает в коллектор для шлангов, установленному на раме скандера или на планки установки преобразователей. От коллектора по силиконовым трубкам через тройники контактная жидкость подается в штуцеры призм антенных решеток или призм TOFD.

Система подачи контактной жидкости может комплектоваться либо электрическим насосом, либо насосом ручным. Длина силиконового шланга выбирается в соответствии с длиной кабеля скандера либо 15 м, либо 25 м.

В случае технической целесообразности возможно применение ручного способа нанесения подходящей по температурному диапазону контактной жидкости.

- **Комплекта антенных решеток.** Комплект состоит как минимум из двух тридцати двух элементных антенных решеток с рабочей частотой 5 МГц и шагом между элементами 1 мм., с кабелем длиной 0,6 м. Антенные решетки (рис. 16 а) подключаются к соответствующим разъемам, расположенных на сканирующем устройстве. Разъем подключения антенных решеток типа Ipeh. По согласованию с заказчиком кабель антенных решеток может быть выполнен в полимерной или металлической оболочке.



Рис. 16 – Антенные решетки а), пьезоэлектрические преобразователи TOFD б).

- **Комплекта призм для антенных решеток.** Комплект состоит из призм, обеспечивающих эффективный ввод в объект контроля сдвиговых ультразвуковых колебаний. Призмы имеют посадочные отверстия, геометрия расположения и размеры, которых согласованы с антенными решетками. Комплект состоит из призм, имеющих кривизну рабочих поверхностей для контроля кольцевых сварных соединений диаметром от 114 мм до 426 мм. Для контроля кольцевых сварных соединений диаметром свыше 426 мм применяются призмы с плоской рабочей поверхностью. Призмы снабжены штуцерами для подключения шлангов подачи контактной жидкости под рабочую поверхность.

- **Комплекта пьезоэлектрических преобразователей TOFD.** Комплект состоит из двух пьезоэлектрических преобразователей (рис. 16 б) с рабочей частотой 5 МГц и диаметром пьезопластины 3 мм, и двух с рабочей частотой 5 МГц и диаметром пьезоэлемента 6 мм и шести кабелей SMA-LEMO FFA. Преобразователи с диаметром пьезопластины 3 мм предназначены для контроля части сечения сварного соединения, прилегающей к внешней поверхности, с диаметром 6 мм для контроля центральной и нижней зоны сварного соединения. На цилиндрических корпусах преобразователей расположена резьба, обеспечивающая их вворачивание в призмы. Преобразователи TOFD подключаются к соответствующим разъемам на корпусе сканера кабелями SMA-LEMO FFA.

- **Комплекта призм для пьезоэлектрических преобразователей TOFD.** Комплект состоит из призм, обеспечивающих ввод в объект контроля продольных ультразвуковых колебаний под углом 50°, 60° и 70°. Призмы имеют резьбовые посадочные отверстия для установки в них преобразователей TOFD. Комплект состоит из призм, имеющих кривизну рабочих поверхностей для контроля кольцевых сварных соединений диаметром от 114 мм до 426 мм. Для контроля кольцевых сварных соединений диаметром свыше 426 мм применяются призмы с плоской рабочей поверхностью. Призмы снабжены штуцерами для подключения шлангов подачи контактной жидкости под рабочую поверхность.

- **Комплекта ЗИП.** В комплект состоит из инструментов необходимых для проведения контроля сварных соединений системой. Приспособление для отметки линии разделки предназначено для нанесения разметочной линии, идущей параллельно оси сварного соединения до выполнения сварки. Относительно разметочной линии выполняется выравнивание трека сканера СК.ТФ.К.

- **Комплекта настроечных образцов в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-2.4-083-2006.** Состоит из образцов, обеспечивающих возможность настройки параметров контроля по технологии ФАР для кольцевых сварных соединений диаметром от Ø57 мм до плоскости и толщиной от 4 мм до 40 мм) и стенов, обеспечивающих возможность сканирования образцов. Диаметры, номинальные толщины НО и стенов для НО должны быть согласованы с Заказчиком.

- **Комплект настроечных образцов для АУЗК методом TOFD.** Состоит из шести образцов, соответствующих требованиям ISO 10863:2011 и предназначенными для настройки

параметров системы для контроля кольцевых сварных соединений диаметром от Ø114 мм до плоскости и толщиной от 6 мм до 40 мм:

Настроечный образец диаметром 121 мм и толщиной 9 мм предназначен для настройки параметров контроля кольцевых сварных соединений диаметром от 114 мм до 178 мм и толщиной от 8 мм до 13 мм. Поставляется со стендом, обеспечивающего сканирование образца.

Настроечный образец диаметром 219 мм и толщиной 9 мм предназначен для настройки параметров контроля кольцевых сварных соединений диаметром от 219 мм до 328 мм и толщиной от 8 мм до 13 мм. Поставляется со стендом, обеспечивающего сканирование образца.

Настроечный образец диаметром 219 мм и толщиной 12 мм предназначен для настройки параметров контроля кольцевых сварных соединений диаметром от 219 мм до 328 мм и толщиной от 10 мм до 18 мм. Поставляется со стендом, обеспечивающего сканирование образца.

Плоский настроечный образец толщиной 9 мм предназначен для настройки параметров контроля кольцевых сварных соединений диаметром от 300 мм и толщиной от 8 мм до 13 мм.

Плоский настроечный образец толщиной 16 мм предназначен для настройки параметров контроля кольцевых сварных соединений диаметром от 300 мм и толщиной от 13 мм до 24 мм.

Плоский настроечный образец толщиной 30 мм предназначен для настройки параметров контроля кольцевых сварных соединений диаметром от 300 мм и толщиной от 24 мм до 45 мм.

Стенд для плоских настроечных образцов (S0180058) предназначен для установки сканера СК.ТФ.К на прямолинейный трек.

- **Образца настроечного универсального со стендом.** для настройки параметров автоматизированного контроля методами ФАР, TOFD и зонального контроля. Образец изготавливается из материала Заказчика под заданную разделку кромок сварного соединения. Диаметры, номинальные толщины и стенды для образцов должны быть согласованы с Заказчиком.

## Разрешительная документация

*Дефектоскоп ультразвуковой многоканальный с цифровой фокусировкой и автоматизированным сканированием антенными решетками АВГУР-АРТ, входящий в состав системы АВГУР-ТФ внесен в реестр средств измерений за № 54090-13. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.27.003.A № 51421.*

Системы АВГУР-ТФ разработаны с учетом требований СТО ГАЗПРОМ 2-2.4-083-2006 и проекта СТО ГАЗПРОМ 15-1.3-004-2019.

Системы АВГУР-ТФ внесены в Реестр средств неразрушающего контроля качества сварных соединений.

<http://vniigaz.gazprom.ru/activities/other/reestry-sto-gazprom-2-3.5-046/>.

## Технические характеристики

Основные технические характеристики системы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование характеристики	Значение
Количество каналов дефектоскопа, шт.	64
Диапазон установки амплитуд импульсов возбуждения, В	от 30 до 100 с шагом 10
Допускаемое отклонение установки амплитуды импульсов возбуждения, %	± 10
Диапазон установки длительности импульсов возбуждения, нс	от 50 до 400
Допускаемое отклонение установки длительности импульсов возбуждения, %	± 10
Полоса пропускания приемного тракта по уровню -3 дБ, МГц	от 0,4 до 25
Диапазон регулировки коэффициента усиления приемного тракта, дБ, не менее	от 0 до 90

Наименование характеристики	Значение
Шаг регулировки коэффициента усиления приемного тракта, дБ	1,0
Линейность по вертикали, % экрана	± 1
Диапазон регулировки задержки развертки, мкс	от 1 до 600
Диапазон регулировки длительности развертки (при частоте оцифровки сигнала 20 МГц), мкс	от 1 до 200
Максимальная толщина контролируемых объектов, мм, не менее	2500
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения глубины залегания дефекта в диапазоне глубин от 1 до 200 мм для режимов ЦФА и ФАР, мм - при условии, что значение апертурного угла* $\alpha$ , отнесенное к длине ультразвуковой волны $\lambda$ составляет не менее 5 град/мм; - при условии, что значение апертурного угла* $\alpha$ , отнесенное к длине ультразвуковой волны $\lambda$ составляет менее 5 град/мм	± 0,8 ± (0,3 + 0,03z), где z – глубина в мм
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения расстояния от установленной точки начала координат до проекции дефекта на поверхность в диапазоне от 1 до 120 мм для режимов ЦФА и ФАР, мм - при условии, что значение апертурного угла* $\alpha$ , отнесенное к длине ультразвуковой волны $\lambda$ составляет не менее 5 град/мм; - при условии, что значение апертурного угла* $\alpha$ , отнесенное к длине ультразвуковой волны $\lambda$ составляет менее 5 град/мм	± 1,0 ± (0,3 + 0,03x), где x – расстояние от установленной точки начала координат до проекции дефекта на поверхность в мм
Диапазон измерения пройденного расстояния датчиком положения, мм, не менее	от 1 до 20000
Пределы допускаемой погрешности измерения пройденного расстояния датчиком положения - в диапазоне от 1 до 100 мм, мм - в диапазоне от 100 до 20000 мм, %	± 0,5 ± 0,5
Габаритные размеры блока системного стационарного (длина x ширина x высота), мм, не более	400 x 300 x 300
Масса блока системного стационарного, кг, не более	13
Габаритные размеры блока системного портативного (длина x ширина x высота), мм, не более	300 x 200 x 150
Масса блока системного портативного с двумя аккумуляторами, кг, не более	6
Средний срок службы, не менее, лет	10
Питание осуществляется от источника внешнего питания переменным током (от электрогенератора) частотой 50 Гц с номинальным напряжением, В	220
Условия эксплуатации дефектоскопа ультразвукового многоканального АВГУР-АРТ стационарного: - температура окружающего воздуха, °С - относительная влажность воздуха при температуре +25°С, % - атмосферное давление, мм рт. ст.	от + 1 до + 40 от 15 до 80 от 630 до 800
Условия эксплуатации дефектоскопа ультразвукового многоканального АВГУР-АРТ портативного: - температура окружающего воздуха, °С - относительная влажность воздуха при температуре +25°С, % - атмосферное давление, мм рт. ст.	от - 20 до + 40 от 15 до 80 от 630 до 800
Условия эксплуатации сканирующего устройства: - температура окружающего воздуха, °С - относительная влажность воздуха при температуре +35°С, % - атмосферное давление, мм рт. ст.	от - 40 до + 50 от 15 до 98 от 630 до 800

\*Примечание - апертурный угол определяется как угол, под которым из заданной точки изображения видна полная апертура антенной решетки (в режиме ЦФА и ФАР).

### Условия использования по назначению

#### Вариант размещения блока на транспортном средстве

Система доставляется к месту проведения контроля на транспортном средстве. В

процессе проведения АУЗК блок системный, управляющий компьютер, насос системы подачи контактной жидкости, емкость с контактной жидкостью размещаются в кабине транспортного средства. Сканирующее устройство для АУЗК двумя операторами доставляется к сварному соединению. Выполняется установка сканирующего устройства на объект контроля. Процесс сбора данных идет в процессе автоматического сканирования преобразователями по поверхности объекта контроля, выполняемого сканирующим устройством. Управление сбором данных, сканированием и подачей контактной жидкости выполняется с управляющего компьютера, расположенного на удаление не более 1 м от блока системного. По окончании сканирования происходит расшифровка результатов контроля и формируется заключение контроля, с объекта контроля снимается сканирующее устройство, доставляется в транспортное средство или к следующему сварному соединению.

### **Вариант портативный**

В случае работы с портативным вариантом системы блок системный размещается в непосредственной близости от объекта контроля, управление выполняется по беспроводному интерфейсу WiFi с защищенного планшетного компьютера. Система работает в режимах АУЗК или МУЗК в зависимости от типа сканирующего устройства. Система эксплуатируется бригадой из 2 дефектоскопистов.

### **Тренинг**

Для эффективного применения систем АВГУР-ТФ для автоматизированного ультразвукового контроля сварных соединений необходимо пройти тренинг у производителя систем ООО «НПЦ «ЭХО+». Продолжительность начального курса составляет 2 недели и включает теоретическую и практическую подготовку.