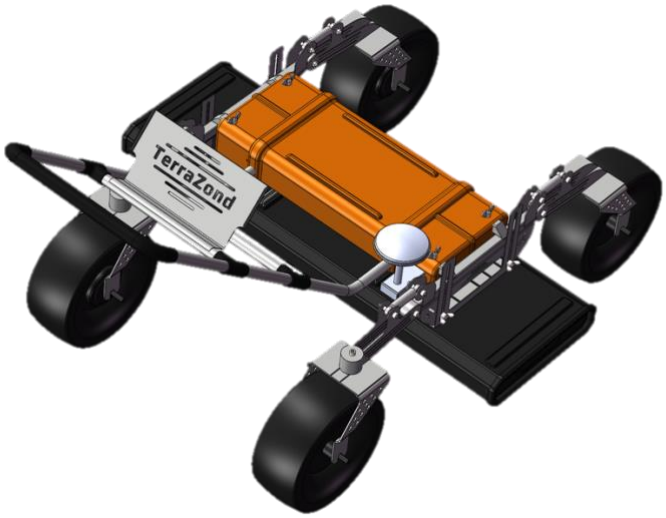
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«ТЕРРАЗОНД»

ОКП 43 1400

ГЕОРАДИОТОМОГРАФ
ГРТ-XX

Руководство по эксплуатации



04.2023 г.

Инв.№ подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата

Формат А4

Содержание

1. Назначение 3
2. Комплектность 4
3. Технические характеристики 4
4. Принцип действия устройства 5
5. Краткое техническое описание устройства 5
6. Общие указания по эксплуатации 7
7. Меры по обеспечению безопасности 8
8. Процедура параллельного (объемного) зондирования 8
9. Техническое обслуживание 9
10. Хранение 9
11. Транспортировка 9
12. Поверка георадиотомографа 10
11. Паспорт 12

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв.№ подл.

					16335932.431400.001 РЭ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.		Л.Рыжков			**Георадиотомограф ГРТ-XX** Инструкция по эксплуатации
Пров.		Д.Романов			
Н.контр.					

Лит.	Лист	Листо
И	2	11

НПО «Терразонд

1. Назначение

Устройство предназначено для обнаружения и пространственной локализации объектов и неоднородностей, скрытых в различных средах (грунт, дорожные покрытия, строительные конструкции и др). Обнаруживаются объекты и неоднородности, диэлектрическая проницаемость которых отличается от фоновой диэлектрической проницаемости среды. Программное обеспечение позволяет получать трёхмерные растровые изображения исследуемого пространства. Имеется возможность представления трехмерных изображений послойно в виде набора изображений, полученных при различных сечениях зондируемого объема вдоль выбранного направления, также возможна трехмерная визуализация неоднородностей. Исходя из полученного изображения, оператор делает вывод о наличии и расположении загубленных объектов и неоднородностей внутри сплошных сред.

Основные сферы применения георадиотомографа:

Строительство

- поиск и локализация различных дефектов в деревянных, кирпичных, железобетонных строительных конструкциях;
- обнаружение арматуры, скрытой проводки, инженерных коммуникаций;
- уточнение инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадок строительства;
- поиск скрытых дефектов в стенах инженерных сооружений, шахт, тоннелей, в опорах и перекрытиях.

Автомобильные дороги, железные дороги, аэродромы

- определение толщин и структуры конструктивных слоев дорожной одежды, железнодорожной насыпи, элементов ВПП, рулевых дорожек аэродромов;
- определение геометрии кровли естественного основания и балластной призмы;
- картирование подземных коммуникаций;
- контроль соответствия строения дорожной одежды, железнодорожной насыпи, взлетно-посадочных полос проектной документации;
- выявление разуплотненных и обводненных участков;
- изучение особенностей армирования бетонных плит покрытия;
- изучение инженерно-геологических условий участков, подверженных деформациям;
- изучение инженерно-геологической обстановки территорий, прилегающих к аэродромам.

Жилищно-коммунальное хозяйство

- определения местоположения подземных коммуникаций трубопроводов, кабелей, коллекторов, дренажных сетей и др.;
- мониторинг состояния подземного пространства при проведении профилактических работ по гидроиспытаниям сетей водоснабжения.

Археология

- локализация и анализ археологических объектов — захоронения, артефакты, предметы быта;
- картирование древних сооружений — выявление расположения фундамента и стен разрушенных зданий;
- определение мощности культурного слоя.

Безопасность

- поиск криминальных захоронений, схронов, взрывных устройств, людей под лавинами;
- выявление несанкционированных врезок в магистральные трубопроводы.

2. Комплектность

Комплектность поставки георадиотомографа определена согласно списку:

1. Управляющий компьютер;
2. Основной блок георадиотомографа (ЛЧМ генератор, коммутатор и АЦП);
3. Модуль антенной решетки с элементами крепления и ВЧ разъемами;
4. Металлический профиль для крепления антенных модулей;
5. Комплект кабелей;
6. USB-флеш-накопитель с программным обеспечением и руководством пользователя;
7. Защищенный пластиковый кейс для транспортировки устройства **- опция;**
8. Навигационный блок (энкодер и/или RTK GNSS и/или иной позиционер) - **опция;**
9. Ручная внедорожная тележка - **опция;**
10. Гусеничная платформа для осуществления автономной работы устройства - **опция.**

3. Технические характеристики

Частотный диапазон генератора ЛЧМ (диапазон частот антенн отличается в зависимости от типа согласования)	**0.5-3 ГГц (ГРТ-3Х) / 0.2-1.2 ГГц (ГРТ-1Х)**
Мощность излучения на выходе приемо-передатчика	**до 50 мВт**
Количество антенн в линейке приемо-передающих модулей	**4-8-16-24-32**
Ширина сканирования за один проход	**0.6 м до 2.4 м**
Тип антенны	**Решетка, состоящая из линеек широкополосных антенн, комбинированного типа**
Допустимый уровень отклонения всех характеристик не более	**5 %**
Максимальная глубина зондирования	**до 2.5 м (ГРТ-3Х)** **до 5 м ((ГРТ-1Х)**
Возможность непрерывного зондирования на скорости	**100+ км/ч**
Разрешение сканирования вдоль антенной линейки	**до 10 см (ГРТ-3Х)/ до 20 см (ГРТ-1Х)**
Вес	**до 5 кг (один антенный модуль ГРТ-3Х)** **от 8 кг (один антенный модуль ГРТ-1Х)**
Напряжение питания (от внешнего источника)	**12.6-13.5 В**
Потребляемая мощность	**до 50 Вт**
Степень защиты	**IP64**
Средняя наработка на отказ	**Не менее 5000 часов**
Температура окружающей среды (эксплуатация)	**от - 20 до 40 °С;**
Относительная влажность (эксплуатация)	**до 80%**

Производитель оставляет за собой право изменять комплектацию и характеристики товара, с сохранением функциональных и качественных показателей товара.

4. Принцип действия устройства

Для сканирования сплошных сред используется антенная решетка с распределенными приемными и передающими высокочастотными (ВЧ) антеннами широкого диапазона, которая осуществляет зондирование среды с разных ракурсов. В процессе сбора данных, три высокоскоростных аналого-цифровых преобразователя (АЦП) с частотой дискретизации 107 выборок в секунду осуществляют аналого-цифровое преобразование входного сигнала с дискретизацией 14 бит. Полученные входные данные поступают в программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), где производится первичная обработка данных в режиме реального времени, заключающаяся в быстром преобразовании Фурье (FFT) над каждыми 1024 выборками по каждому каналу. Полученные на выходе ПЛИС данные передаются по PCIe интерфейсу в процессор, который сопоставляет принятым данным GPS/ГЛОНАСС метку. Сформированный пакет трасс (радарограмма) передается на компьютер посредством высокоскоротсного протокола Gigabit Ethernet.

Благодаря применению антенных решеток с синтезированием апертуры обеспечивается возможность получать помимо стандартных радарограмм с каждого канала, демонстрирующих распределения амплитудно-фазовых характеристик для используемого частотного диапазона, еще и трёхмерные растровые изображения исследуемого пространства. Имеется возможность предоставления трехмерного набора данных послойно в виде набора радиоизображений, полученных при различных сечениях зондируемого объема вдоль выбранного направления, также возможна трехмерная визуализация неоднородностей. Технология многоканальной коммутации позволяет использовать метод общей средней точки для расчета электрофизических параметров (толщина и диэлектрическая проницаемость) верхнего контрастного слоя среды, например асфальтобетона.

Для обнаружения и локализации неоднородностей может использоваться, как стандартный анализ георадарных данных, так и метод математической фокусировки для технологии радара с синтезированием апертуры, при котором все зарегистрированные решеткой ВЧ сигналы суммируются в фазе для каждой задаваемой точки фокусировки с коррекцией существующего запаздывания. Таким образом фокусировка осуществляется путем последовательного суммирования принятых сигналов с выравниванием временных задержек импульсов, рассеянных точкой с заданными координатами. В принятый сигнал вносятся задержки, соответствующие суммарному времени прохождения сигнала от передатчика до объекта и обратно от объекта до приемника. После чего амплитуды сигналов, соответствующие рассчитанным задержкам складываются. Полученный результат является точкой радиоизображения с соответствующими координатами. Проведя операцию фокусировки для каждой точки выбранного объема пространства, строится трехмерное радиоизображение. Операция фокусировки проводится в частотной области с применением быстрых алгоритмов обработки, что позволяет реализовывать трехмерные томограммы исследуемого пространства в режиме реального времени.

5. Краткое техническое описание устройства

В состав георадара входят СШП антенный блок приемных и передающих антенн, работающих в диапазоне частот от 0,15 до 0,9 ГГц и от 0,7 до 2,6 ГГц; чувствительный высокоскоростной ЛЧМ генератор, обеспечивающий работу георадара в частотных диапазонах от 0,1 до 1,2 ГГц и от 0,5 до 3 ГГц на скорости движения до 130 км/ч (при плотности записи георадарных трасс – каждые 10 см); высокоскоростное электронное

реле; программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) для приема, обработки и хранения геоданных, а также энкодер и GNSS модуль.

Устройство представляет собой модульный комплекс, состоящий из блока формирования и приема ВЧ импульсов на основе ЛЧМ генератора и модуля антенной решетки. Кроме блока ЛЧМ генератора ВЧ импульсов и антенных модулей в состав аппаратуры также входит навигационный блок и управляющий компьютер.

Параметры подключаемых антенных систем:

- стандартное исполнение / облегченное.
- согласованные на грунт/воздух;
- антенная пара (количество антенных элементов - 2) / решетка с синтезированной апертурой (количество элементов – 4, 8, 16, 24, 32) / фазированная антенная решетка (количество элементов 4 или 8) / активная фазированная антенная решетка (количество элементов от 8 до 32).

Комплекс георадиотомографии имеет возможность подключения большинство инкрементальных оптических энкодеров с напряжением питания от 5В, доступных на рынке, а также внешних GNSS систем, обеспечивающих вывод глобальных координат по протоколу UART в формате NMEA.

На рисунке 1 представлена общая структурная схема работы комплекса георадиотомографии.

Рис. 1 Общая структурная схема многоракурсного георадара (георадиотомографа)

На рис. 2 приведена блок-схема устройства, содержащая основные части системы. Назначение частей и электронных блоков системы представлено в таблице 1.

Рис. 2. Блок схема устройства

Таблица 1.

№	Название	Предназначение
1	ЛЧМ генератор	Обеспечивает сигнал с перестройкой 0,5-2 ГГц (0.2-1.2 ГГц) в режиме линейно-частотной модуляции. Частота перестройки до 10 кГц
2	Усилитель	Обеспечивает усиление ЛЧМ сигнала на выходе до 100 мВт
3	Смеситель	Обеспечивает выделение принятого сигнала на промежуточной частоте (ПЧ) для регистрации низкочастотными АЦП
4	Электронные переключатели	Обеспечивают коммутацию приемных и передающих элементов антенной решетки. Время переключения около 50 мкс
5	Антенная решетка	Один антенной модуль содержит 4/8 приемных и 4/8 передающих антенн с линейной поляризацией.
6	Квадратурный приемник	Обеспечивает прием C и S компонент сигнала, по которым рассчитывается амплитуда и фаза сигнала.
7	Блок коммутации каналов решетки	Обеспечивает переключение приемных и передающих антенн в режиме тактирования. В результате реализуется эквивалентная решетка той же апертуры, состоящая из N приемо-передающих антенн.
8	Микроконтроллер	Выдает синхроимпульсы для генерации ЛЧМ, переключения каналов по заданной программе, оцифровку принятого сигнала, первичную обработку ЛЧМ сигнала (БПФ).
9	Ноутбук	Обеспечивает постобработку сигналов, формирует трехмерную томограмму исследуемого пространства.
10	Блок навигации	Обеспечивает позиционирование данных по траектории пройденного пути.

Блок схема генератора ЛЧМ представлена на рис. 3. ЛЧМ генератор содержит: задающий генератор (ГУН); опорные генераторы; блок-усилители гетеродинных частот; схему фазовой привязки опорных генераторов; смесители сдвига; схему формирования частотных меток с диэлектрическим резонатором; блок-усилители сигналов для передачи и приема; усилитель мощности; приемный смеситель диапазона; квадратурный фазовый детектор.

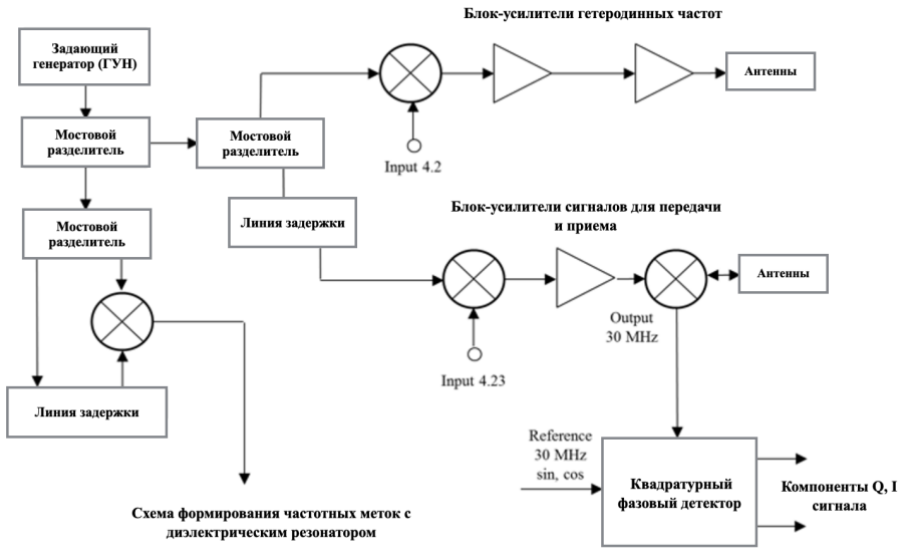


Рис. 3. Блок схема генератора линейного частотно модулированного сигнала

6. Общие указания по эксплуатации

Перед началом работы с георадиотомографом следует пройти первичный инструктаж производителя, обязательно убедиться в целостности корпусных деталей и проверить его комплектность согласно списку из пункта 2.

Чтобы исключить возможные сбои в процессе работы необходимо обеспечить эксплуатацию блока генератора учитывая его степень защищенности (IP-64) и требования к режиму эксплуатации. В случае использования аппаратуры в условиях воздействия агрессивными средами – необходимо обеспечить дополнительную защиту всех узлов аппаратуры.

Для начала работы необходимо подключить между собой все узлы системы и убедиться в надежности соединений.

Следующим этапом необходимо включить комплекс. Рекомендуемые параметры питающей сети: напряжение 12,6-13,5 В максимальный потребляемый ток – до 2,5 А.

Рабочее положение линейки антенных модулей относительно сплошной среды устанавливается в диапазоне от 0 см до 40 см, в зависимости типа согласования антенн и от выбранной методики проведения измерений. Чем дальше от поверхности сплошной среды - тем более контрастнее проявляется первая граница (воздух/сплошная среда) на томограмме, но тем меньше максимальная глубина проникновения.

Подробное описание процедуры настройки и подключения комплекса можно найти в сервисной инструкции к комплекту аппаратуры.

Работа комплекса осуществляется посредством специализированного ПО GeoLocator. Визуализация собранных материалов их первичная обработка и подготовка к экспорту в сторонние форматы для постобработки осуществляется в ПО GeoViewer. Инструкции по работе в ПО GeoLocator и GeoViewer указаны в руководстве оператора.

7. Меры по обеспечению безопасности

Учитывая степень защиты комплекса IP64 – следует исключить струйного воздействия воды, а также динамического воздействия потоков воды на корпусные детали и соединения георадиотомографа, комплекс также не предназначен для погружения в воду. Для исключения негативных последствий следует осуществить все необходимые меры для защиты ключевых узлов аппаратуры.

Во время ремонта аппаратуры следует руководствоваться специальными сервисными инструкциями и соблюдать все меры предосторожности.

8. Процедура параллельного (объемного) зондирования

Работа устройства осуществляется следующим образом. По команде с программы управления устройством и при начале движения запускается регистрация ВЧ сигналов излучаемых ЛЧМ генератором и регистрация рассеянного сигнала приемником. Наведенные в приемной антенне импульсы напряжения через смеситель подаются на вход квадратурного приемника. Оцифрованный с помощью микроконтроллера сигнал с квадратурного приемника поступает в компьютер, где он в последующем обрабатывается. Коммутация каналов антенной решетки осуществляется блоком управления электронными переключателями, построенным на основе многоканальных механических ВЧ коммутаторов. Полученные данные передаются на управляющее устройство, где производится обработка сигналов и формирование трехмерной томограммы исследуемой среды.

9. Техническое обслуживание

Георадиотомограф является чувствительным измерительным прибором и требует аккуратного обращения. В случае механического повреждения корпусных элементов необходимо исключить попадание влаги внутрь прибора в процессе эксплуатации. При активной эксплуатации - необходимо следить за целостностью контактных групп штекеров и разъемов. Чистку разъемов и соединителей следует осуществлять быстросохнущей силиконовой смазкой (WD-40 или аналоги) либо сжатым воздухом. В случае возникновения механических повреждений антенных модулей – произвести визуальную проверку геометрии отражателя линейного модуля, обеспечить герметичность и целостность корпусных элементов. Не допускается использование антенного модуля с деформированным отражателем, так как возникающие нелинейные изменения сигнала из-за смещения фазовых центров антенн, могут резко исказить результат.

10. Хранение

Прибор должен храниться в герметичной таре, обеспечивающей защищенность от агрессивных внешних воздействий различных факторов (атмосферные явления, кинетические воздействия). Условия хранения 1 по ГОСТ 15150-69.

Расположение приборов в хранилищах должно обеспечивать их свободное перемещение и доступ к ним.

Расстояние между стенами, потолком, полом хранилища и приборами должно быть не менее 100 мм.

Расстояние между отопительными устройствами и приборами должно быть не менее 0,5м.

В помещении для хранения не должно быть токопроводящей пыли, примесей агрессивных газов и паров, вызывающих коррозию материалов прибора.

До введения в эксплуатацию приборы должны храниться в упаковке предприятия-изготовителя в условиях хранения 5 по ГОСТ 15150-69.

11. Транспортировка

Приборы могут транспортироваться всеми видами закрытого транспорта в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52931-2008, ГОСТ 15150-69, а также правилами и нормами, действующими для каждого вида транспорта.

Условия транспортировки по характеру воздействия климатических факторов внешней среды должны соответствовать условиям 5 по ГОСТ 15150-69.

Перевозимые приборы должны быть закреплены в транспортных средствах, а при использовании открытых транспортных средств - защищены от атмосферных осадков и брызг воды.

Транспортировка упакованных приборов может производиться на любые расстояния любым видом транспорта без ограничения скорости.

Размещение и крепление в транспортных средствах перевозимых приборов должны обеспечивать их устойчивое положение, исключать возможность ударов о другие предметы, а также о стенки транспортных средств.

При перевозке воздушным транспортом приборы следует располагать в герметизированных и отапливаемых отсеках.

После транспортировки при температурах, отличных от условий эксплуатации, перед эксплуатацией прибора необходима выдержка оборудования в нормальных климатических условиях не менее двух часов.

Внутренние элементы радиоаппаратуры не включают в себя вещества запрещенные или ограничивающие перемещение оборудования воздушным транспортом.

Питание прибора осуществляется от внешних источников, не входящих в комплектацию.

12. Поверка георадиотомографа (только для моделей внесенных в реестр средств измерений)

Периодичность поверки устанавливается предприятием, использующим прибор, с учетом условий и интенсивности его эксплуатации, но не реже одного раза в два года. При подготовке и проведении поверки следует соблюдать требования безопасности.

Для проведения поверки должны соблюдаться условия окружающей среды:

1. Температура окружающего воздуха, °С	+25±5
2. Относительная влажность воздуха, %	70±10
3. Атмосферное давление, мм. рт. ст.	760±50

Измерительные инструменты и приборы участвующие в определении геометрических размеров должны быть аттестованы в качестве средств измерений.

Поверка осуществляется с проведением двух этапов измерения комплексом георадиотомографии.

Первым этапом рассчитывается относительная погрешность определения расстояния между двумя параллельно расположенными объектами в фокусе антенны (оси X). Вторым этапом рассчитывается погрешность определения расстояния вдоль оси Z перпендикулярно области измерения аппаратурой.

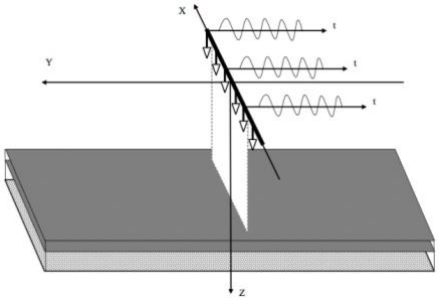


Рис. 2. Направление осей XYZ относительно антенного блока и исследуемой среды.

При проведении первого этапа поверки должны выполняться следующие операции:

1. На диэлектрическом основании (деревянный или пластиковый стол, верстак, пр.) устанавливаются вертикально два алюминиевых цилиндра (трубы) диаметром 3-6 см на расстоянии друг от друга 10-15 см по оси X.
2. Параллельно двум цилиндрам на расстоянии 1 м от отрезка, соединяющего их центры, устанавливается антенный блок георадиотомографа.
3. Далее необходимо произвести цикл измерения и построить с помощью программного обеспечения радиотомограмму исследуемого пространства с цилиндрами.
4. В программном обеспечении с помощью функции «линейка» на томограмме необходимо измерить расстояние между центрами образов цилиндров.

5. Для расчета относительной погрешности определения расстояния между двумя параллельно расположенными объектами в фокусе антенны, следует применять следующую формулу:

$$\delta_{f1} = 100\ |Dm - Dr| / Dr\ ,$$ где:

Dm - измеренное значение расстояния по томограмме, мм;
Dr - действительное значение расстояния, измеренное аттестованным измерительным инструментом, мм.
Приборы считаются прошедшими поверку с положительным результатом, если:

$$\delta_{f1} \leq \delta_{доп1}\ ,$$ где:

$\delta_{доп1}$ - предел допускаемой погрешности определения расстояния между двумя параллельно расположенными объектами в фокусе антенны.

При проведении второго этапа поверки должны выполняться следующие операции:
1. На диэлектрическом основании (деревянный или пластиковый стол, верстак, пр.) устанавливается вертикально алюминиевый цилиндр (труба) диаметром 3-6 см.
2. Рядом с цилиндром устанавливается антенный блок георадиотомографа.
3. Далее необходимо произвести цикл измерения и построить с помощью программного обеспечения радиотомограмму исследуемого пространства с цилиндром.
4. В программном обеспечении с помощью функции “линейка” на томограмме необходимо измерить расстояние от условной границы антенного блока и центра образа цилиндра.
5. Для расчета относительной погрешности определения расстояния до цилиндра в фокусе антенны, следует применять следующую формулу:

$$\delta_{f2} = 100\ |Dm - Dr| / Dr\ ,$$ где:

Dm - измеренное значение расстояния по томограмме, мм;
Dr - действительное значение расстояния, измеренное аттестованным измерительным инструментом, мм.

Приборы считаются прошедшими поверку с положительным результатом, если:

$$\delta_{f2} \leq \delta_{доп2}\ ,$$ где:

$\delta_{доп2}$ - предел допускаемой погрешности определения расстояния от антенны до локализованного объекта.

Прибор считается прошедшим поверку с положительным результатом, если предельно допускаемая относительная погрешность прибора не превышает допустимых предельных значений.

11. Паспорт

Георадиотомограф соответствует техническим условиям и признан годным для эксплуатации. Прибор не содержит драгоценных металлов. Комплект аппаратуры не является опасным грузом.

Дата выпуска <____>_____20___г.

Модель	**ГРТ-**
Серийный номер	

_____

Дата продажи <____>_____20___г.

Поставщик _____

М.П.

Гарантия на аппаратуру 12 месяцев, с момента ввода в эксплуатацию, но не позже 18 месяцев с момента продажи.

_____

Расшифровка маркировки:

ГРТ-

XX

^ ^

Максимальная частота генератора - 3 (0.5-3 ГГц) или 1 (0.2-1.2 ГГц) или 8 (1-8 ГГц) __|

|

|

Код антенной решетки - 1-XX _____|

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16335932.431400.001 РЭ

Лист

13

12. Гарантийная политика

Что покрывается гарантией:

Дефект Товара, возникший по вине производителя, вызванный использованием некачественных материалов при производстве или нарушением технологии производства и проявившийся в течение гарантийного срока в процессе эксплуатации Товара.
В период действия гарантийного срока владелец вправе потребовать устранение недостатков в товаре на безвозмездной основе.

Что не покрывается гарантией (не является неисправностью):

– естественный износ;
– нарушения правил эксплуатации;
– повреждения, возникшие в результате механического, химического или иного воздействия;
– несоответствие ожиданиям владельца, при условии отсутствия неисправности;
– любые иные косвенные расходы, возникшие в результате или по причине наличия брака в Товаре.

Обязанности владельца:

При возникновении неисправности/обнаружении дефекта в товаре, необходимо обратиться в сервисный центр, проводивший продажу данного Товара. Расходы по доставке Товара для осуществления гарантийного ремонта в сервисный центр и обратно владельцу осуществляется за счет владельца. Срок нахождения Товара на обслуживании по гарантии не включает время затраченное на пересылку в сервисный центр и обратно владельцу.

На момент обращения должны быть предоставлены документы, подтверждающие дату приобретения Товара.

Точная информация о гарантийном периоде и условиях гарантии на конкретный Товар указывается в договоре на поставку и имеет преимущественную силу.