

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЗОНДИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ БЛИЖНЕГО РАДИОНАБЛЮДЕНИЯ

С. С. Шадинов

МИРЭА – Российский технологический университет,  
119454, Москва, просп. Вернадского, 78

Статья поступила в редакцию 21 июня 2020 г.

**Аннотация.** В работе представлены реальные эксперименты, выполненные на современном оборудовании, предоставленном Детским технопарком «Альтаир» на базе МИРЭА – Российского технологического университета. В статье описаны технические характеристики устройства, интерфейс программного обеспечения, описаны области применения. Описана интерактивная лабораторная работа на базе устройства «Пикор-Био». Приведены результаты исследований и опытов с примерами реальных радарограмм. Представлены полученные радарограммы с описанием проведенных опытов. Описан процесс идентификации целей на радарограммах. Освещены результаты обнаружения объектов в разных по площади помещениях.

**Ключевые слова:** СШП система «Пикор-Био», СШП радиовидение, СКИ импульсы, обнаружение людей через радиопрозрачные материалы, исследование СШП радара, интерактивная лабораторная работа «Исследование СКИ радиолокатора «Пикор-Био».

**Abstract.** The paper presents real experiments performed on modern equipment provided by the Altair Children's Technopark on the basis of MIREA - Russian Technological University. The article describes the technical characteristics of the device, the software interface, describes the scope. Interactive laboratory work based on the Pikor-Bio device is described. The results of studies and experiments with examples of real radarograms are presented. The obtained radarograms with the description of the experiments are presented. The process of identifying targets on

radarograms is described. The results of detecting objects in different areas of the premises are highlighted.

**Keywords:** UWB system “Pikor-Bio”, UWB radio-vision, SRI pulses, detection of people through radiolucent materials, investigation of UWB radar, interactive laboratory work “Research of SRI of radar “Pikor-Bio”.

## **Введение**

Использование сверхширокополосных субнаносекундных сигналов в радиолокации позволяет качественно улучшить характеристики локаторов. Короткая пространственная протяженность импульсов позволяет обнаруживать малоразмерные цели и цели с малой эффективной отражающей поверхностью, также появляется возможность идентифицировать формы обнаруживаемых целей и определять материалы, из которых состоят объекты. Однако сверхкороткие импульсы не используются для обнаружения на больших дальностях. Остается открытой проблема генерации субнаносекундных импульсов большой мощности. Но на дальностях, не превышающих несколько сотен метров, сверхкороткоимпульсные локаторы применяются для решения большого количества задач. Подобные системы обладают высокой помехоустойчивостью к помехам активного и пассивного характера, а также сами не оказывают серьезного влияния на другие электронные устройства. В этой статье будет рассмотрена работа СКИ радара «Пикор-Био».

## **1. Области применения СШП локаторов**

СШП локаторы применяются и могут применяться в ближайшем будущем для следующих перспективных направлений:

– обнаружение людей, находящихся под завалами в результате землетрясений, техногенных катастроф, схода лавин, когда скорейшее определение мест нахождения живых людей очень важно;

– обнаружение и слежение за людьми, находящимися за непрозрачными препятствиями или в условиях плохой видимости при проведении

антитеррористических операций, а также ведении боя в условиях города;

– дистанционное обнаружение раненных при боевых действиях по их дыханию для снижения риска медицинского персонала при эвакуации под огнем противника;

– дистанционное обнаружение скрытого под одеждой человека огнестрельного или холодного оружия;

– контроль охраняемых территорий от вторжения посторонних лиц;

– досмотр транспортных контейнеров в целях выявления лиц, нелегально пересекающих границу;

– дистанционное определение эмоционального состояния человека для выявления потенциально опасных лиц, например при предпосадочном досмотре в аэропортах;

– разработка дистанционного детектора лжи, позволяющего незаметно для человека измерять параметры его кардиореспираторной системы и на их основе оценивать его психоэмоциональное состояние;

– контроль состояния оператора сложных машинных комплексов;

– регистрация речевых сигналов человека за препятствиями без использования традиционных акустических микрофонов;

– мониторинг пульса и дыхания пациента в случае, когда применение контактных сенсоров невозможно или затруднено;

– слежение за состоянием и диагностика внутренних органов человека;

– дистанционное слежение за состоянием плода в период беременности (вместо мониторов, использующих ультразвук с контактными датчиками);

– определение эластичности кровеносных сосудов путем измерения скорости распространения импульса кровяного давления при сердечном сокращении, что поможет выявить предрасположенность пациента к сердечно-сосудистым заболеваниям.

## **2. Применение СКИ локатора «Пикор-Био»**

Радар «Пикор-2» – это российская разработка от компании «ООО «ФПК «ЭСТРА». Индикационный модуль в зависимости от установленного

программного обеспечения может быть использован в качестве георадара, ледомера или обнаружителя живых объектов. Контрольно-индикационный прибор мониторинга движения за непрозрачными преградами «Пикор-Био» предназначен для обнаружения людей за оптически непрозрачными преградами (стены и перекрытия зданий, в том числе межэтажные, неосвещенные помещения, завалы из строительных материалов разрушенных сооружений и горной породы, снежные лавины и т.д.), причем как движущихся, так и неподвижных (по движению и дыханию). Прибор позволяет оператору "видеть сквозь стены" количество людей в комнате, определять расстояние до них, в реальном времени видеть, двигаются они или неподвижны.

Данная модель прибора предусматривает подключение к персональному компьютеру (под ОС Windows) через интерфейс USB. Оператор на компьютере или планшете с помощью программного обеспечения «СШП-Био» может управлять параметрами датчика и в реальном масштабе времени наблюдать за объектами обнаружения на радарограмме. Также программное обеспечение позволяет записывать радарограммы для последующего просмотра.

Прибор обладает скрытностью и безопасностью действия, его нельзя обнаружить радиосканером, поскольку излучаемая им мощность, распределенная в широком спектре частот, крайне мала. При своей работе он не создает помех другим радиосредствам и сам обладает достаточной помехоустойчивостью. Прибор «Пикор-Био» может использоваться как без отрыва от стены, так и с отрывом от стены. Контрольно-индикационный прибор мониторинга движения за непрозрачными преградами использует сверхкороткие импульсы радиоволн с высокими характеристиками проникновения сквозь стены и перекрытия, изготовленные из стандартных строительных материалов, включая кирпичи, блоки, бетонные перекрытия, железобетон, деревянные балки, штукатурку, обои, а также офисную мебель, стекло и т.д. Экраном для него будут лишь металлические преграды. Одним из условий корректной работы прибора является отсутствие значительных движений объектов в задней полусфере диаграммы направленности его антенн,

поскольку из-за своей очень высокой чувствительности прибор может показывать помимо движения целевого объекта и движения самого оператора. Поэтому оператору рекомендуется располагаться на максимально возможном расстоянии от прибора, за какой-либо преградой либо не совершать значительных движений. Расстояние удаления оператора с помощью USB-кабелей - до 10 м. В любом случае данные "ложные" срабатывания легко определить и игнорировать. Для верификации и настройки работы можно размещать камеры наблюдения в тех помещениях, за которыми "следит" прибор. Таким образом, всегда можно проверить информацию, которую выдает прибор, и обучить оператора правильно интерпретировать данные радарограммы.

Ключевые преимущества контрольно-индикационного прибора мониторинга движения за непрозрачными преградами «Пикор-Био»:

- достоверное обнаружение людей, укрытых за стенами из любых стандартных стройматериалов;
- раздельное обнаружение объектов, находящихся вблизи друг от друга (на расстоянии от 0.5 м);
- одновременное обнаружение движущихся и неподвижных объектов;
- простой пользовательский интерфейс, обеспечивающий широкие возможности управления параметрами датчика и интуитивную интерпретацию радарограммы;
- возможность работы, как без отрыва, так и с отрывом от поверхности стены;
- скрытность, помехоустойчивость и безопасность действия;
- максимальная дальность обнаружения объектов - 20 м при отсутствии "мертвой зоны".

В этой статье «Пикор-2» с программным обеспечением «Пикор-Био» рассматривается в режиме обнаружения живых объектов через строительные материалы.

Прибор «Пикор-2» состоит из двух основных частей, представленных на

рисунках 1 и 2. Первая часть – это индикационный модуль, состоящий из электрической схемы устройства и двух антенн Вивальди, расположенных в одной плоскости на расстоянии около 10 см. Одна из антенн является передающей, вторая приемной. Антенны находятся в ударопрочном, герметичном корпусе с удобной рукоятью для оператора. Антенный модуль подключается кабелем ко второй части - планшету, с установленным на нём программным обеспечением.



Рис. 1. Индикационный модуль.



Рис. 2. Планшетный ПК.

Таблица 1 – технические характеристики «Пикор-2»

Параметр	Характеристика
Диапазон частот	1 – 4 ГГц
Длительность импульса	0.6 нс
Центральная частота	1.6 ГГц
Вид сигнала	импульсный СШП
Регулируемый диапазон дальности	0 – 16 м
Минимальная амплитуда обнаруживаемых движений	1 см
Толщина кирпичной стены, за которой обнаруживается человек	не менее 50 см
Материалы, через которые возможна работа	кирпич, бетон, железобетон, камень, оштукатуренная стена, гипсокартон и др.
Сектор обзора	– 60° в горизонтальной плоскости; –120° в вертикальной плоскости
Потребляемая мощность	1.35 Вт
Напряжение питания	5 В через USB
Время автономной работы	зависит от батареи планшета или ноутбука
Размеры антенного модуля	длина 41 см, ширина 27 см, высота 7 см
Масса антенного модуля	1,8 кг
Диапазон рабочих температур:	– 20... +50 °С

### 3. Прделанные опыты

В ходе работы было проделано большое количество опытов, позволяющее подготовить методический материал для интерактивной лабораторной работы «Исследование СКИ радиолокатора «Пикор-2». Далее представлен неполный список проделанных опытов:

- Обнаружение человека в воздушной среде;
- Обнаружение через гипсокартонную стену и др. среды;
- Обнаружение нескольких человек;
- Обнаружение неживых движущихся объектов;
- Определение дальности обнаружения;
- Определение точности обнаружения;
- Определение ширины ДН;
- Определение разрешающих способностей и др.

Интерфейс программного обеспечения «СШП-Био», установленного на ПК или планшет, к которому подключен индикационный антенный модуль. Внешний вид диалогового окна представлен на рисунках 3, 4.

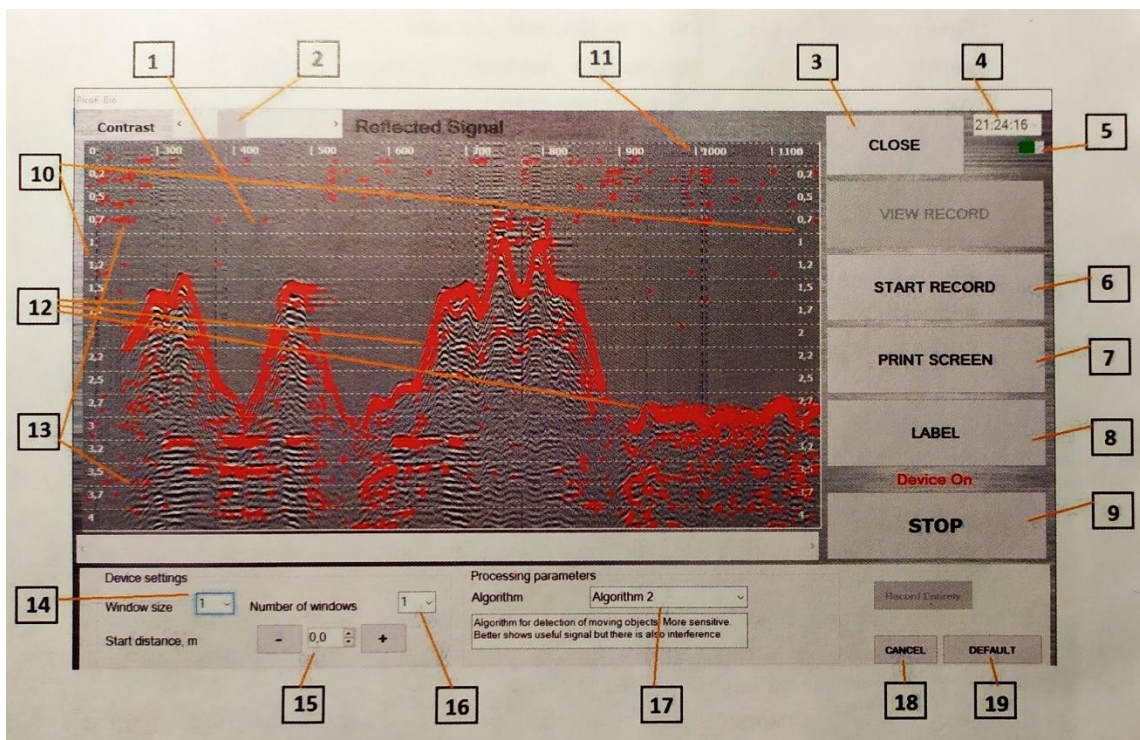


Рис. 3. Диалоговое окно программы (часть 1).

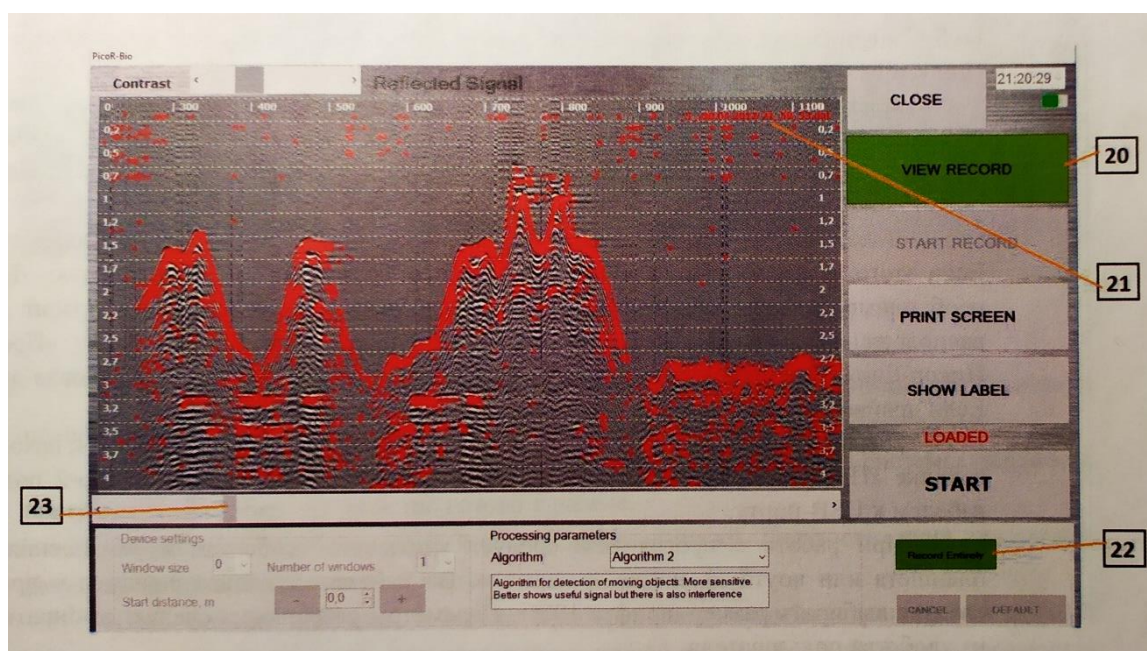


Рис. 4. Диалоговое окно программы (часть 2).

1. Окно радарограммы.
2. Ползунок «Contrast» («Контраст»). Он позволяет изменить контраст изображения. В случае слабого отраженного сигнала рекомендуется его сдвиг вправо.
3. Кнопка «CLOSE» («ВЫХОД»). При нажатии на нее работа программы прекращается.
4. Часы.
5. Индикатор зарядки аккумулятора планшетного ПК.
6. Кнопка «START/STOPRECORD» («НАЧАТЬ/ОСТАНОВИТЬ ЗАПИСЬ»). Начинает/останавливает запись радарограммы.
7. Кнопка «PRINTSCREEN» («СКРИНШОТ»). Позволяет получить скриншот рабочего окна программы. Скриншоты сохраняются в папке C:\!UWB\_screenshots, создаваемой автоматически по умолчанию.
8. Кнопка «LABEL/SHOWLABEL» («МЕТКА/ПОКАЗАТЬ МЕТКИ»). Используется для записи, отображения меток. Метка на радарограмме отображается красной вертикальной линией и может быть использована для отметки неких событий.
9. Кнопка «START/STOP» («СТАРТ/СТОП»). Используется для включения/выключения индикационного модуля, начала/окончания воспроизведения записанного сигнала.



10. Шкала расстояния в метрах.
11. Шкала количества измерений (отсчётов).
12. Последовательность красных пятен, отображающихся при превышении отраженным сигналом некоторого порога. При использовании алгоритмов «2» и «В».
13. Помехи.
14. Меню «Windows size» («Размер окна»).  
Значение 0 соответствует расстоянию в воздухе 2 м;  
Значение 1 соответствует расстоянию в воздухе 4 м;  
Значение 2 соответствует расстоянию в воздухе 20 м.
15. Окно начальной дальности. Устанавливает смещение начальной точки записи отраженного сигнала относительно нулевой отметки. Позволяет исключить неинформативную часть получаемых данных.
16. Меню «Number of windows» («Количество окон»). Устанавливает количество окон, данные в которых будут суммированы.
17. Меню выбора алгоритма и описание текущего алгоритма. Позволяет выбирать подходящий алгоритм обработки.
18. Кнопка «CANSEL» («ОТМЕНА»). Отменяет последние изменения и устанавливает параметры такими, какими они были при открытии программы.
19. Кнопка «DEFAULT» («ПО УМОЛЧАНИЮ»). Сброс параметров и установка их по умолчанию.
20. Кнопка «VIEWRECORD» («ПРОСМОТР»). Переключает программу в режим воспроизведения/просмотра записей сигнала с данными об измерениях и выдает окно выбора записи для воспроизведения. Для возврата в режим измерения следует нажать кнопку еще раз и убедиться, что она не подсвечена. Кнопка не активна, если нажата кнопка «СТАРТ». Для активации кнопки следует нажать кнопку «СТОП».
21. В режимах записи или просмотра записи отобразится имя файла.
22. Кнопка «Record entirely» («Файл целиком»). Управляет режимом воспроизведения/просмотра данных. Если подсвечена – радарограмма отображается полностью, если нет – то воспроизводится в режиме проигрывания записи так же, как и во время режима измерений.

23. Ползунок для управления просмотром соответствующей записи сигнала в режиме просмотра и активной «Record entirely» («Файл целиком»).

#### 4. Описание лабораторной работы

Интерактивная лабораторная работа «Исследование СКИ радиолокатора «Пикор-Био» состоит из следующих пунктов:

- Часть №1. Определение дальности действия в свободном пространстве.
- Часть №2. Оценка точности измерения по дальности.
- Часть №3. Оценка разрешающей способности по дальности.
- Часть №4. Определение разрешающей способности по углу.
- Часть №5. Определение ширины диаграммы направленности в двух перпендикулярных плоскостях.
- Контрольные вопросы.
- Домашнее задание.

В работе проведена часть теоретических расчетов характеристик обнаружения, подтверждающих экспериментальные данные.

– Дальность действия в свободном пространстве при минимальных значениях параметров:

$$R_{\max 0} = \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.19 \cdot 0.5}{(4\pi)^3 \cdot 10^{-11}}} = 30.88 \text{ м.}$$

– Дальность действия в свободном пространстве при максимальных значениях параметров:

$$R_{\max 0} = \sqrt[4]{\frac{1.35 \text{ Вт} \cdot 4 \cdot 4 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot 0.19 \cdot 1.2}{(4\pi)^3 \cdot 10^{-11}}} = 68.76 \text{ м.}$$

– Разрешающая способность по дальности:

$$\Delta R_{\min} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 0.6 \cdot 10^{-9}}{2} = 0,09 \text{ м.}$$

Ниже приведены радарограммы части проделанных опытов.

На данной радарограмме (рис. 5) объекты наблюдения отсутствуют, небольшие помехи от оператора, находящегося на расстоянии 1.5 – 2 метра.

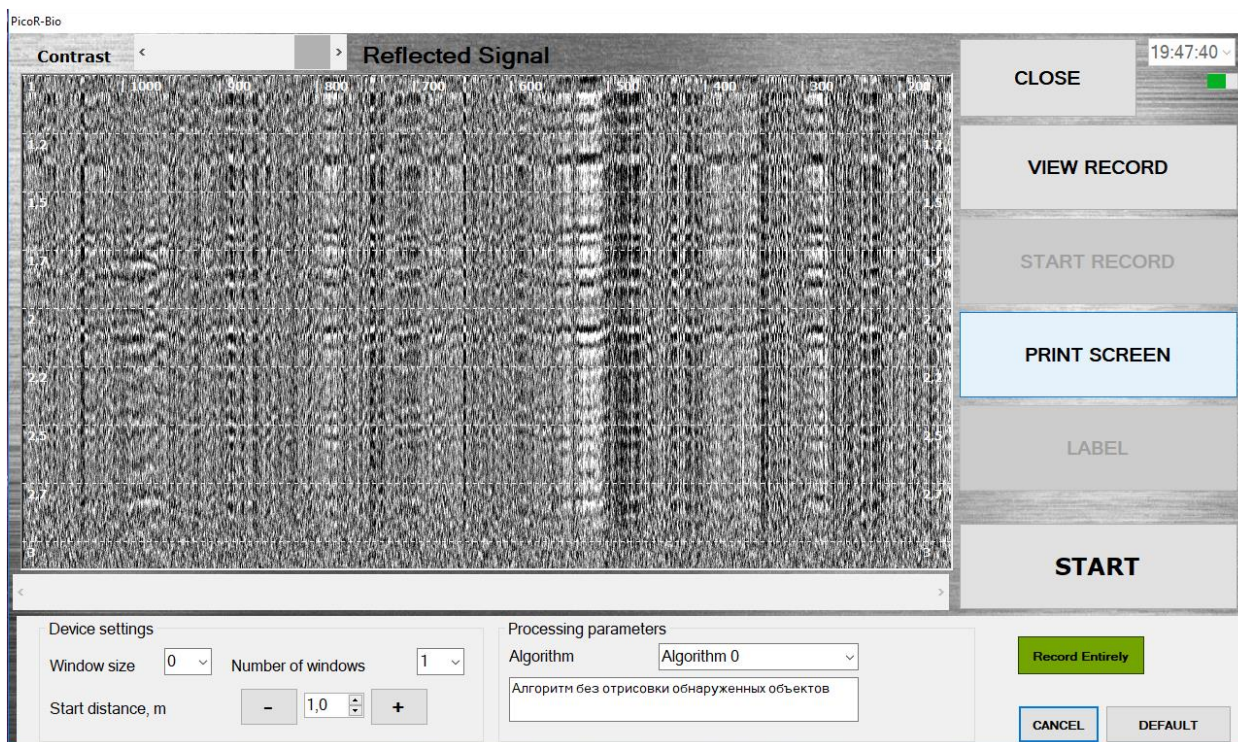


Рис. 5. Радарограмма помещения без объектов наблюдения.

На данной радарограмме (рис. 6) человек неподвижно сидит, на радарограмме отображается движение грудной клетки. Черные и белые полосы с частотой движения грудной клетки изгибаются вверх на вдохе и вниз на выдохе.

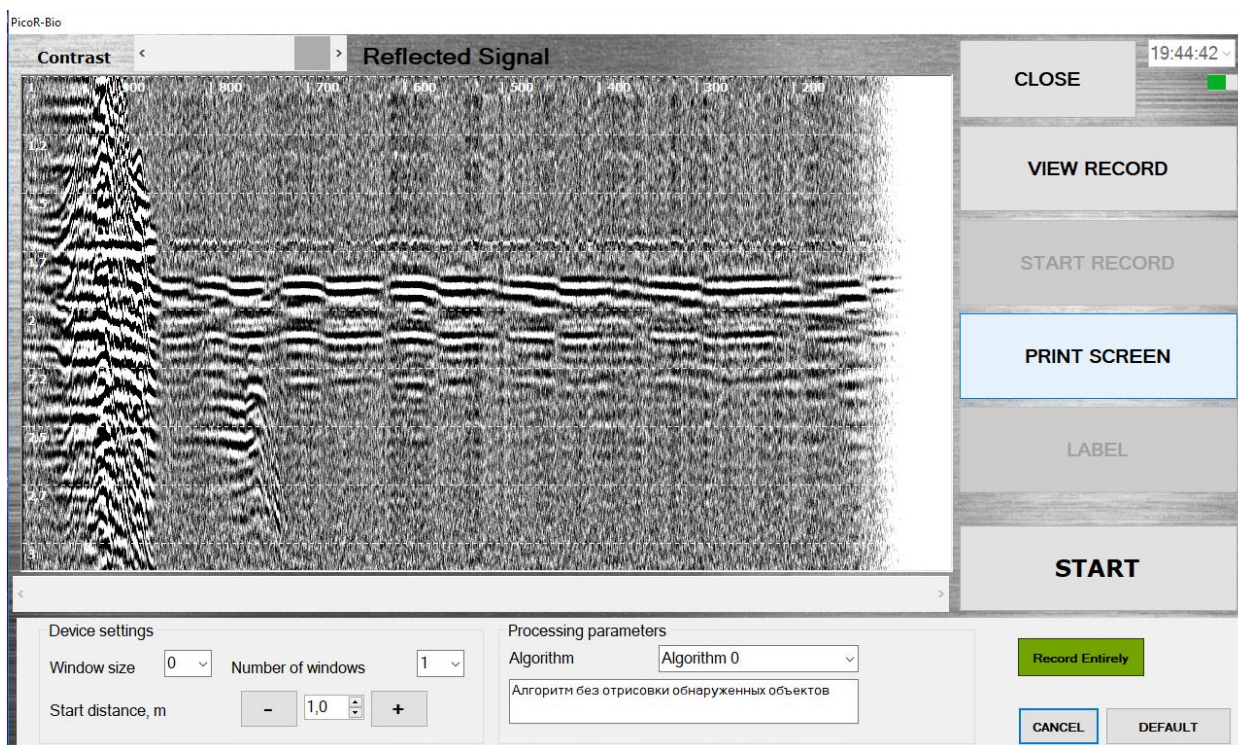


Рис. 6. Радарограмма дыхания человека через стену.

На данных радарограммах (рис. 7, 8) два человека, находящиеся на одном расстоянии от прибора (около 2 метров), начинают расходиться вдоль одной линии, совпадающей с направлением излучения, один от прибора, второй к прибору. Отличить двух людей можно на расстоянии около 0.5 метров. Как видно из радарограммы, сигнал от второго человека заметен гораздо слабее, но идентифицировать нахождение человека возможно.

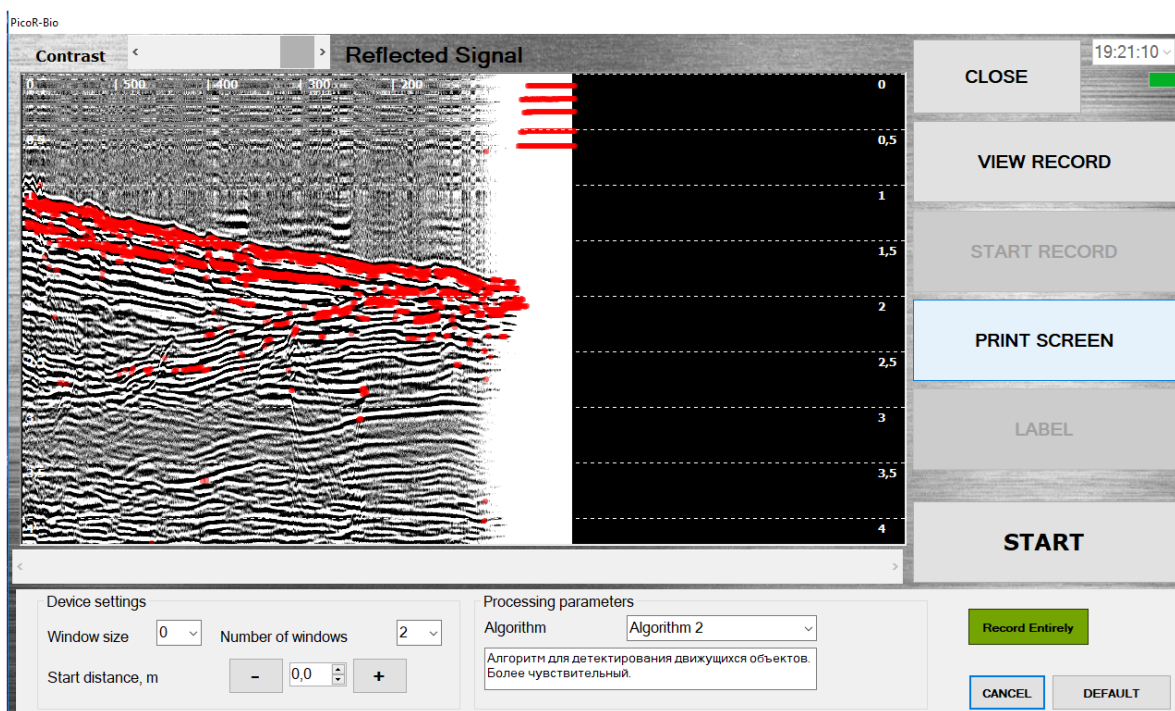


Рис. 7. Радарограмма определения разрешения по дальности.

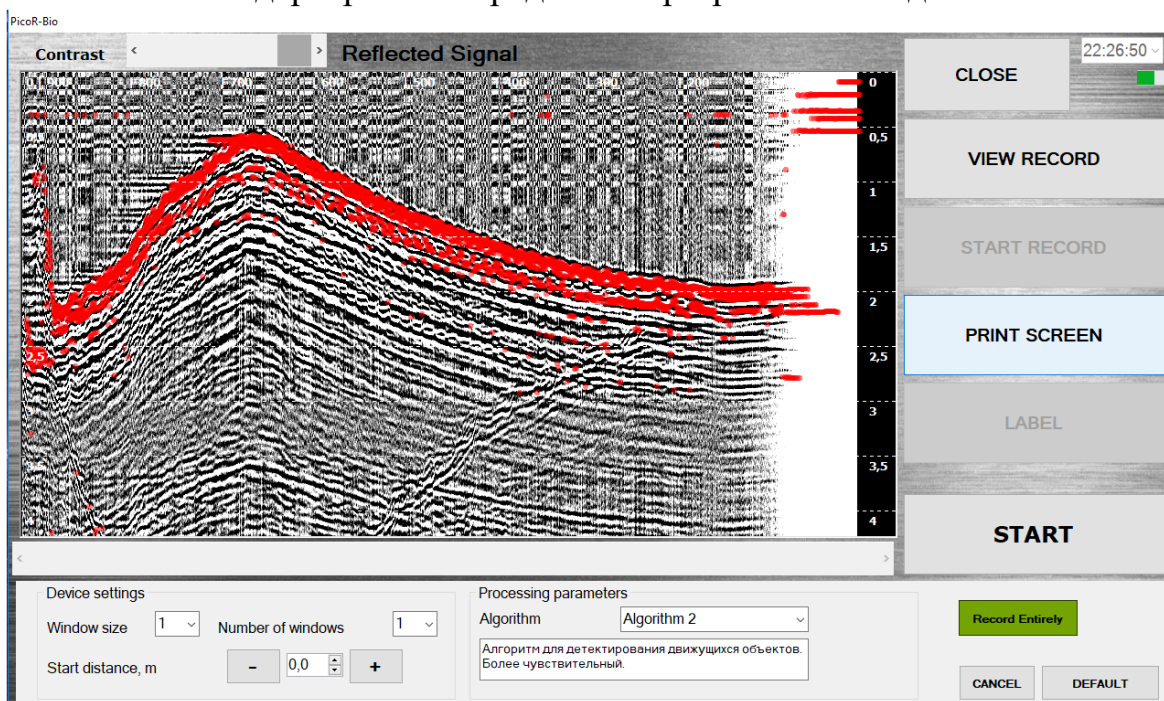


Рис 8. Радарограмма определения разрешения по дальности.

Высокая чувствительность прибора позволяет определять физиологические частоты движения живых существ, таких как движение грудной клетки и сердцебиение. На данной радарограмме у идущего позади человека прослеживается движение грудной клетки.

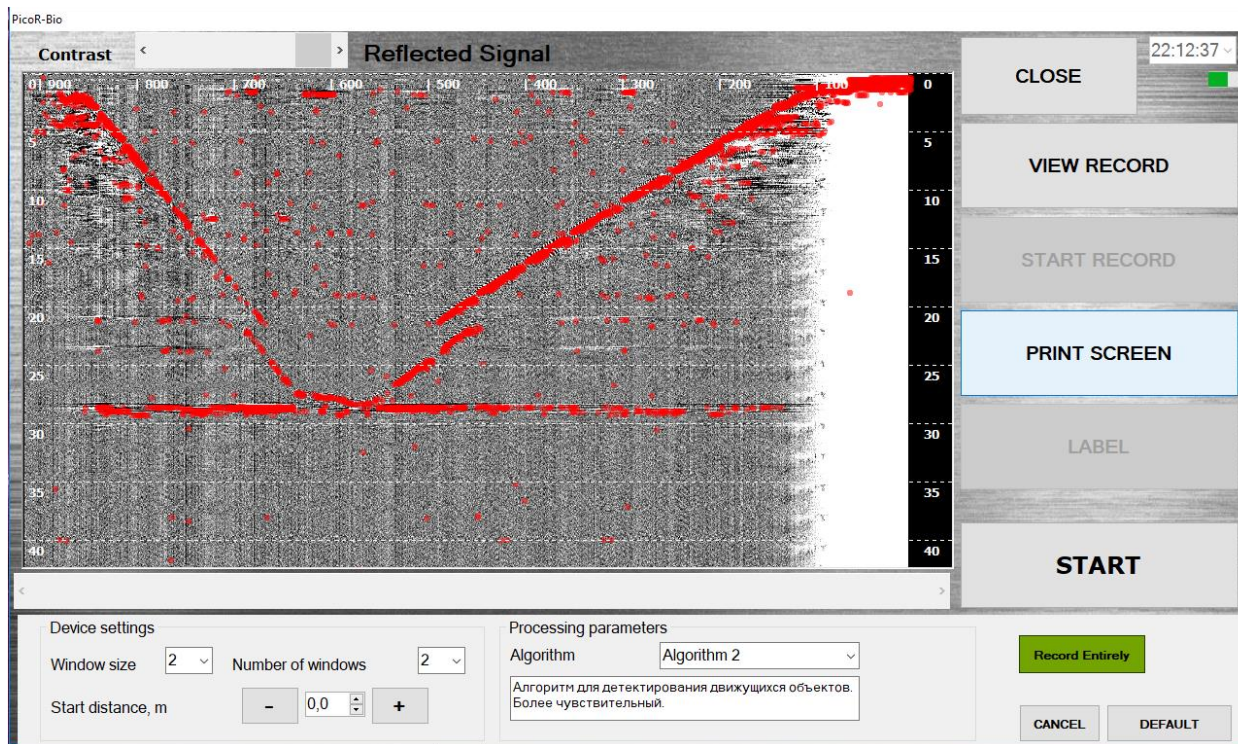


Рис. 9. Радарограмма по определению дальности в коридоре.

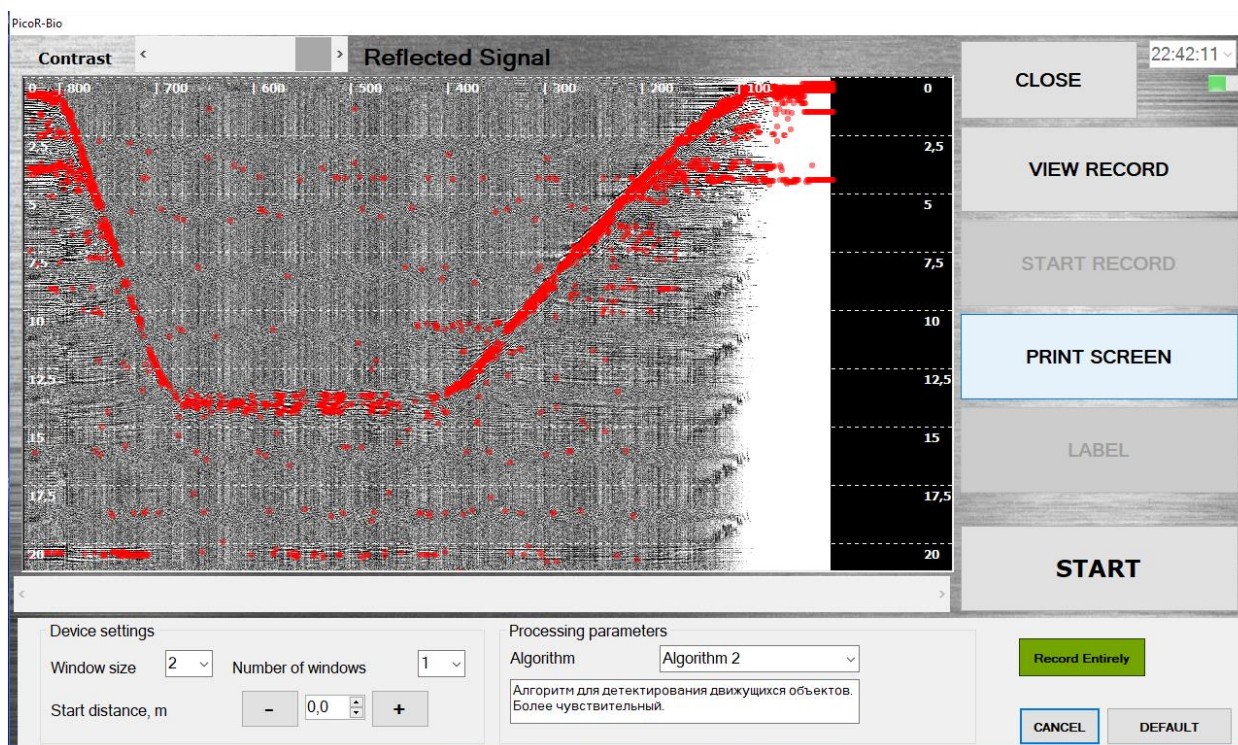


Рис. 10. Радарограмма по определению дальности в большом помещении (более 150м<sup>2</sup>).

Опыт по определению дальности обнаружения в коридоре с перекрестком (аналогичным поперечным коридором), на дальности около 21 метра видна потеря сигнала – рис. 9.

Опыт по определению дальности в большом помещении (более 150м<sup>2</sup>) – рис. 10. В отличие от узкого коридора, порядка 2м, дальность обнаружения в большом помещении снижается почти в 2 раза.

### **Заключение**

В ходе работы было проведено исследование СШП системы «Пикор-2», перечислены основные перспективные направления в использовании СШП локаторов, проведены уникальные опыты обнаружения, сформулированы методические материалы к интерактивной лабораторной работе «Исследование СКИ радиолокатора «Пикор-2», проведены теоретические расчеты и выявлены интересные особенности обнаружения, не упомянутые в настоящей документации к прибору. Результаты работы были представлены на 5-ой научно-технической конференции МИРЭА – Российского технологического университета.

### **Литература**

1. Костин М.С., Бойков К.А. Циклогенеративные системы атактовой оцифровки субнаносекундных радиоимпульсов в радиовидении // Инженерная физика. 2018. №1. С. 41-47.
2. Костин М.С., Бойков К.А. Циклогенеративные системы высокоскоростной оцифровки нестационарных субнаносекундных процессов // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №6. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jun17/8/text.pdf>.
3. Костин М.С., Бойков К.А., Котов А.Ф. Высокоточные методы циклоподобной атактовой оцифровки субнаносекундных сигналов // Радиотехника и электроника. 2019. Т.64. № 2. С. 191-194. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0033849419020104>.
4. Костин М.С. Субнаносекундные сигналы и технологии: учебное пособие / М.

С. Костин. М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2018. 110 с.

5. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: учебник для вузов. – 2-е Изд., перераб. и доп. / П. А. Бакулев. – М.: Радиотехника, 2007. – 376 с.

6. Костин М.С. и др. Радиоволновые процессы и техника СВЧ [Электронный ресурс]: метод. указания по выполнению лаб. работ / М.С. Костин и др. – М.: РТУ МИРЭА, 2018. – Электрон. опт. диск (ISO)

7. Ширман П.Д., Гомозов В.И., Лещенко С.П., Орленко В.М. Перспективы широкополосной активной радиолокации. Труды 1-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», Т1, Харьков. 2002. С. 3-5.

**Для цитирования:**

Шадинов С.С. Пространственная сверхширокополосная визуализация зондируемых объектов ближнего радионаблюдения. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.7.8>