

*Розглянуто методи виявлення об'єктів, що приховані за перешкодами. Проведено огляд схематичних рішень приладів пошуку прихованих об'єктів*

*Ключові слова: радіолокація, прилади пошуку, виявлення*

*Рассмотрены методы обнаружения объектов, скрытых за преградами. Проведен обзор схематических решений приборов поиска скрытых объектов*

*Ключевые слова: радиолокация, приборы поиска, обнаружение*

*The methods of finding out objects, hidden after barriers are considered. The review of schematic decisions of devices of search of the hidden objects is conducted*

*Keywords: radio-location, devices of search, discover*

# МЕТОДЫ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ЗА НЕПРОЗРАЧНЫМИ СРЕДАМИ

**Н. А. Коваленко**

Аспирант, ассистент

Кафедра радиоэлектроники и компьютерных систем  
Украинская инженерно-педагогическая академия  
ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003

E-mail: nick@rks.kh.ua

## 1. Введение

**Постановка проблемы.** Традиционно подповерхностная радиолокация решала задачи зондирования грунтов для обнаружения подземных коммуникаций, взрывоопасных предметов, вещественных доказательств в криминалистике, подслушивающих устройств, дефектов в строительных конструкциях, а также ряд других задач.

В настоящее время интенсивно развиваются теория и практика подповерхностной радиолокации для обнаружения людей, находящихся в завалах или за стенами строительных конструкций.

Участившиеся в последнее время техногенные и вызванные террористическими актами катастрофы выдвигают на передний план необходимость разработки эффективной аппаратуры оперативного обнаружения людей в завалах для оказания им своевременной помощи.

**Цель статьи.** Аналитический обзор современных методов подповерхностной радиолокации, приемлемых для обнаружения живых людей за непрозрачными преградами.

## 2. Анализ литературных источников

В последние годы опубликован ряд работ по анализу методов и средств обнаружения человека за различными препятствиями [1 – 5]. Основное внимание в них уделяется методам сверхширокополосной (СШП) радиолокации. Более полный анализ методов и средств радиолокации для обнаружения людей за преградами и дистанционного определения параметров их дыхания и сердцебиения приведен в монографии [6]. Здесь также описаны методы СШП биорадиолокации и методы с использованием непрерывного сигнала. В

частности, методы использования монохроматической биорадиолокации, квазинепрерывных, псевдослучайных, широкополосных сигналов и методы радиоволновой интерферометрии движений тела человека, связанных с дыханием и сердцебиением.

Вместе с тем методы обнаружения и контроля местоположения людей, находящихся за преградами, могут быть расширены.

## 3. Основное содержание работы

**Общая характеристика контролируемого объекта и рабочего диапазона частот.** Радиолокационный поиск живых людей под завалами строительных конструкций, образовавшихся в результате природных или техногенных катастроф, основывается на модуляции радиосигнала отраженного от человека.

Такую модуляцию осуществляют колебания грудной клетки при дыхании.

При распространении электромагнитная волна (ЭМВ) через препятствия наименьшее ее затухание имеет место при низких частотах, но обнаружить движение грудной клетки на этих частотах затруднительно. Поэтому оптимальным рабочим диапазоном частот считается диапазон в области 1 ... 10 ГГц (3 ... 30 см). Однако дальность действия радиолокатора в этом диапазоне за счет затухания ЭМВ в строительных конструкциях составляет порядка 10 м.

**Радиолокация с гармоническим излучением.** При отражении зондирующего сигнала от подвижной границы (грудной клетки) происходит изменение фазы сигнала, которое может быть зафиксировано тем или иным способом.

В экспериментальных исследованиях, описанных в [5] производилась одновременная регистрация сигналов комплексом «РеоКардиоМонитор» и радиолока-

ционным комплексом «БиоРаскан» в условиях свободного дыхания и естественной подвижности человека.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

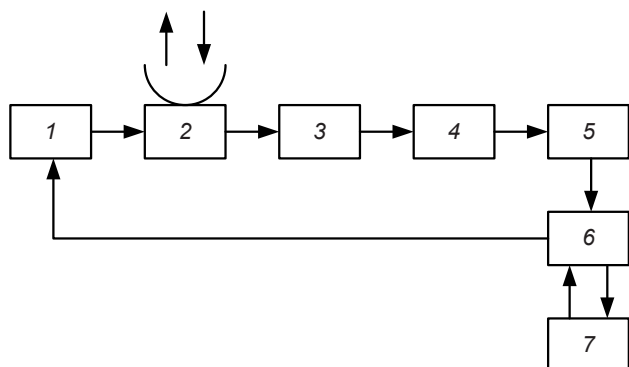


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Передатчик представляет собой генератор (1), управляемый напряжением (ГУН). Диапазон возможной перестройки частоты ГУН составляет от 1,5 до 2 ГГц при мощности генератора 10 мВт. Детектор (3) выполнен на основе СВЧ-диода Шотки с нулевым смещением. Полосовой фильтр (4) выполнен по схеме Баттерворта второго порядка с полосой пропускания 0,05 ... 3 Гц. Полоса фильтра выбиралась с учетом возможного диапазона регистрируемых физиологических колебаний – сердцебиения и дыхания. Усилитель постоянного тока (5) состоит из двух каскадов с регулируемым коэффициентом усиления от 20 до 50 дБ.

Установка работает следующим образом. Управляющий сигнал от персонального компьютера (ПК) (7) через интерфейс (6) устанавливает заданную величину управляющего напряжения. Нагрузкой генератора является приемопередающая антенна (2). Принимаемый антенной сигнал детектируется и после прохождения через полосовой фильтр усиливается усилителем постоянного тока и поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) интерфейсного блока (6). Данные от АЦП поступают в ПК. После обработки результаты измерений отображаются на экране в реальном масштабе времени.

В результате проведенных исследований показана возможность использования радиолокационных средств СВЧ-диапазона по дистанционному контролю параметров кардиореспираторной системы человека. Экспериментально подтверждена способность радиолокатора с частотой 1,6 ГГц по зондированию через препятствия в рамках решения задачи поиска людей в завалах и слепого контроля психофизиологического состояния человека.

**Радиолокация с моноимпульсным гармоническим излучателем.** В работе [7] рассмотрены структура и принцип действия трехкоординатного радиолокационного измерителя местоположения подповерхностных объектов нетрадиционного построения – с моноимпульсным облучателем в качестве приемопередающей антенны и гармоническим зондирующим сигналом.

На рис. 2 приведена структурная схема рассматриваемого радиолокационного измерителя местоположения, где 1 – передатчик, 2 – антенное устройство,

выполненное в виде однополосного волнового моноимпульсного облучателя; 3 – устройство регистрации, 4 – приемник.

На рис. 3 показаны: однополосный моноимпульсный облучатель и расположение его на поверхности раздела двух сред (Пр) при зондировании подповерхностного объекта (О). Диэлектрическая проницаемость наполнения облучателя ( $\epsilon$ ) выбирается по возможности соответствующей диэлектрической проницаемости оптически непрозрачной среды ( $\epsilon_0$ ), в которой находится скрытый объект.

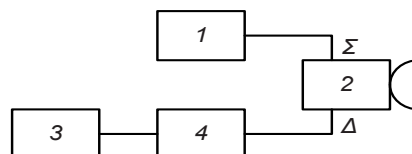


Рис. 2. Структурная схема радиолокационного измерителя местоположения

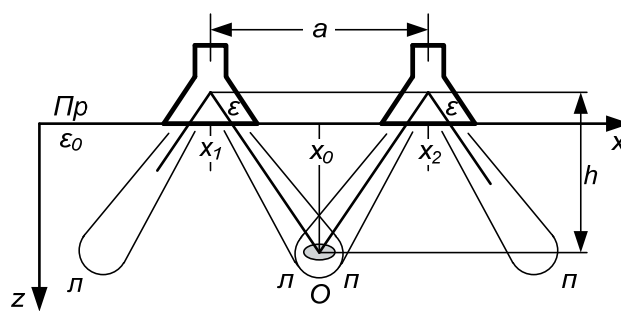


Рис. 3. Моноимпульсный волновой облучатель

Радиолокационный измеритель местоположения работает следующим образом. Передатчик (1) генерирует гармонический электромагнитный сигнал, который поступает на суммарный вход облучателя и излучается им как радиосигналы в пространстве из оптически непрозрачной среды ( $\epsilon_0$ ) под поверхностью раздела (эти сигналы различны при различии в координатах облучателя). Зондирующие сигналы, облучающие объект, отражаются им и далее поступают в антенное устройство-облучатель (2), которым преобразуются в разностные электромагнитные сигналы на разностном выходе облучателя с амплитудами, зависящими от положения облучателя на поверхности раздела (Пр). Электромагнитные сигналы, получаемые на разностном выходе, поступают в приемник (4) и преобразуются (усиливаются и детектируются) им в электрические сигналы, которые далее поступают в устройство регистрации (3). По результатам регистрации электрических сигналов судят о местоположении зондируемого объекта (О).

Измерение горизонтальной координаты объекта осуществляется ее отсчетом после подбора положения моноимпульсного облучателя на поверхности раздела, которому соответствует минимум сигнала с разностного выхода, т.е. при котором облучатель находится в точности над объектом и, следовательно,  $x = x_0$  (рис. 2).

Для определения координаты z, т.е. глубины h объекта, устройство предварительно калибруется. Сама же глубина h определяется с помощью калибровочной

зависимости  $a(h)$ , полученной для модели, по измеряемому расстоянию между двумя положениями  $x_2$  и  $x_1$  моноимпульсного облучателя на поверхности раздела для случая реальной среды.

Рассматриваемый радиолокационный измеритель не имеет так называемой мертвой зоны по дальности (измеряет дальность до объекта от 0 м.).

Вопросы дальности действия измерителя и точности его измерений требуют дополнительных исследований.

**Нелинейная радиолокация.** Для дистанционного обнаружения замаскированных объектов применяются «нелинейные» радиолокационные системы (НРЛС), принцип действия которых основан на приеме информационных сигналов на гармониках зондирующей радиоволны. Источниками вторичного излучения поля на гармониках являются полупроводниковые компоненты радиоэлектронных средств, а также сварные швы, заклепки, стыковые, прижимные и винтовые контакты «металл-диэлектрик-металл» с нелинейными вольтамперными характеристиками. Укрывающие среды отражают радиоволны только на частоте зондирующего сигнала, поэтому фоновые помехи не регистрируются приемником НРЛС. В работе [8] экспериментально проверена возможность поиска крупногабаритных объектов в лесном массиве. В эксперименте использовался измерительный комплекс на несущей частоте 155 МГц, длительностью импульса 6 мкс и периодом следования импульсов – 2,8 мс. Для устранения аномальных ошибок при срабатывании регистрирующего устройства в приемный тракт комплекса был включен расширитель импульсов, обеспечивающий увеличение их длительности до 400 мкс.

Так как у человека практически всегда могут находиться предметы с контактом «металл-диэлектрик», например, авторучка или ключи, а в сейсмически опасных районах для населения можно изготавливать специально носимые ими малогабаритные нелинейные устройства (пассивные маркеры), то метод нелинейной радиолокации, учитывая большую глубину проникновения ЭМВ по сравнению с СВЧ диапазоном, может быть полезен для систем биорадиолокации.

На рынке предлагаются радиолокационные системы поиска с использованием пассивных маркеров, например [9]. Данная система обеспечивает обнаружение людей и объектов, снабженных пассивными (не содержащими источник питания) маркерами, в отсутствие прямой видимости через преграды из дерева, кирпича, бетона и других материалов, а также в снежных завалах.

Ее принцип действия заключается в следующем. Антенный датчик прибора создает в зоне поиска электромагнитное поле (зондирующий сигнал). При наличии в этой зоне маркера в нем происходит преобразование частоты зондирующего сигнала в высшие кратные гармоники с последующим их переизлучением в окружающее пространство.

Вторая гармоника зондирующего сигнала принимается датчиком и регистрируется приемником прибора.

Конструктивно пассивный маркер выполнен из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1 мм, диод помещается во фрезерованную канавку между печатными проводниками.

**Параметрическая локация.** Параметрическая локация – активный метод обнаружения объектов, при котором регистрируются изменения параметров зондирующего поля за счет облучения этих объектов дополнительным возбуждающим полем.

В работе [10] показана возможность использования для поиска малоразмерных объектов принципиально нового метода, основанного на регистрации искусственно вызываемых контрастов между объектом поиска и фоном за счет дополнительного облучения исследуемого пространства, наряду с основным зондирующим, различными физическими полями.

Рассеянное объектом поиска электромагнитное поле может отличаться от падающего своими параметрами: амплитудой, фазой, частотой и поляризацией. Под воздействием дополнительного возбуждающего поля эти параметры могут изменяться во времени и пространстве. Закон изменения этих параметров будет определяться, прежде всего, характеристиками возбуждающего поля.

Поисковая система, регистрирующая «возбужденную» нелинейность металлических контактов объекта поиска, технически может быть реализована несколькими способами. Например, с использованием НРЛС при двухчастотном СВЧ-облучении с регистрацией комбинационных частот второго порядка или за счет реализации эффекта кроссмодуляции. При этом необходимо, чтобы один из двух СВЧ-сигналов, облучающих объект, был по мощности значительно больше другого.

Ожидаемые дальности обнаружения малоразмерных объектов, реализуемых при использовании переносного варианта параметрических локаторов, лежат в пределах от десятков сантиметров до десятков метров.

Идея параметрической локации является логическим продолжением метода нелинейной радиолокации. В обоих методах регистрируются спектральные различия принимаемых сигналов от неподвижных объектов. Однако в отличие от нелинейной радиолокации круг обнаруживаемых объектов в параметрической локации значительно шире. Главным недостатком параметрической локации являются повышенные энергозатраты на создание возбуждающего поля.

**Применение Е-импульса для радиолокации объектов.** Весьма перспективным представляется привлечение для идентификации объекта спектра собственных частот последнего. Один из вариантов такого подхода состоит в использовании монохроматического сигнала специальной формы, та называемого Е-импульса. При облучении им произвольного объекта отраженный сигнал содержит вклад собственных колебаний рассеивателя; если же объект совпадает с тем, на который «настроен» этот импульс, то упомянутый вклад оказывается погашенным. Отмеченное свойство Е-импульса позволяет использовать его для классификации объектов.

В работе [11] рассмотрена методика расчета Е-импульса; решена соответствующая нестационарная задача для рассеивателя в виде диэлектрического тела, которое погружено в однородное диэлектрическое полупространство; показана принципиальная возможность использования Е-импульса для идентификации рассеивателей, скрытых под поверхностью среды.

Если отраженный сигнал имеет резонансные частоты объекта, то по ним можно судить о самом объекте.

**СШП радиолокация.** В настоящее время наиболее реальным путем использования СШП-технологии в радиолокации является создание относительно мало-мощных радаров, работающих на дистанциях единицы и десятки метров, как в воздухе, так и различных средах. Устройство и принцип действия одного из таких радаров описано в [12]. Рассматриваемый радар представляет собой доплеровский СШП-радар, структурная схема которого приведена на рис. 4.

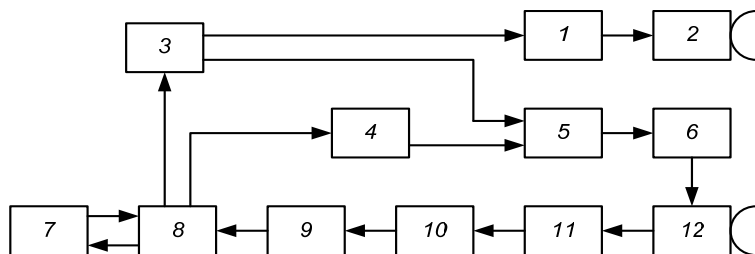


Рис. 4. Обобщенная схема СШП-радара

СШП-радар состоит из: формирователей коротких импульсов (1 и 6), передающей антенны (2), задающего генератора (3), управляющей линией задержки (4), линии задержки (5), компьютера (7), микроконтроллера (8), аналого-цифрового преобразователя (9), интегрирующего усилителя (10), амплитудного и фазового детектора (11) и приемной антенны (12).

Передатчик построен по обычной когерентной схеме. Стабильный задающий генератор формирует непрерывное колебание на несущей частоте радара, из которого формирователь передатчика «вырезает» короткий радиоимпульс, излучаемый антенной. Этот же сигнал через управляемую линию задержки подается также в формирователь приемника, который создает опорный сигнал, открывающий приемник в коротком временном окне (стробе). Изменением задержки опорного сигнала регулируется расстояние от радара до наблюдаемого объекта. Все остальное время приемник закрыт, что позволяет реализовать его эффективную защиту от сигналов, отраженных от объектов, находящихся вне рабочего строга.

В зависимости от типа наблюдаемой цели (неподвижная, движущаяся) в СШП-радаре используется некогерентный или когерентный режим. Соответственно, на входе приемника применяется амплитудный или фазовый детектор. При использовании амплитудного детектора импульсы с его выхода усиливаются, оцифровываются и поступают в микроконтроллер. При использовании фазового детектора импульсы с его выхода подаются на интегрирующий усилитель, полосовой фильтр которого выделяет диапазон рабочих доплеровских частот радара и производит накопление сигнала. Накопленный низкочастотный сигнал также оцифровывается и подается в микроконтроллер. Микроконтроллер производит управление всеми операциями радара в соответствии с заданным алгоритмом, а также подготавливает данные для дальнейшей обработки в компьютере. Компьютер выполняет обнаружение цели, селекцию движущихся целей, цифровую фильтрацию необходимых данных.

Для исключения слепых зон по дальности при когерентной обработке сигнала в приемном тракте радара используются квадратурные каналы с фазовыми детекторами, опорные сигналы которых сдвинуты на 90°.

Особенностью работы радаров малой дальности для дистанционного и бесконтактного определения физиологических параметров человека является сочетание высокой частоты повторения импульсов и малой скорости движения объекта наблюдения. Такое сочетание позволяет за достаточно большие интервалы времени (порядка 0,1 с), в течение которых объекты наблюдения можно полагать неподвижными, выполнять когерентное накопление больших пачек (сотен тысяч и миллионов) импульсов. Это обстоятельство позволяет существенно снизить импульсную и среднюю мощность передатчика радара, что особенно важно для СШП-радаров, к которым предъявляются весьма жесткие требования по электромагнитной совместимости с радиотехническими средствами, работающими в той же полосе частот.

В работе [2, 13] приведено описание устройств, использующих короткоимпульсные сверхширокополосные измерительные сигналы, созданных авторами для решения гуманитарных проблем контроля физиологического состояния людей, охраны объектов, обнаружения людей под завалами, мониторинга движений за диэлектрическими преградами.

Схема СШП радиолокатора приведена на рис. 5.

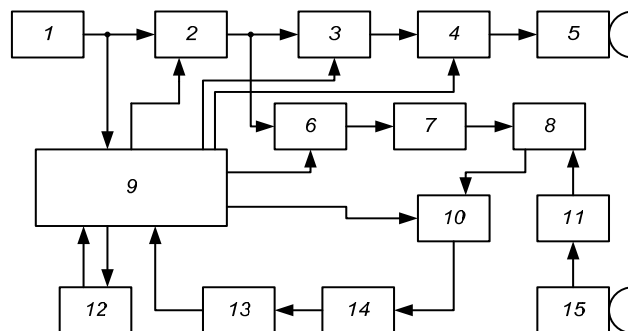


Рис. 5. Схема СШП локатора для обнаружения живых объектов

Структурная схема локатора содержит генератор тактовых импульсов (1) с частотой повторения 1 МГц, формирователь псевдослучайной последовательности импульсов (2), устройства задержки (3 и 6), формирователи импульсов пикосекундной длительности (4 и 7), Т-рупорные антенны (5 и 15), компьютер (12), СВЧ-коррелятор, включающий умножитель (11) и интегрирующую цепь (8), регулируемый усилитель (10) и полосовой фильтр (14), АЦП (13) и устройство обработки (9).

Принцип действия локатора состоит в следующем. Сканирование по дальности осуществляется путем измерения задержки опорного сигнала в блоке задержки. Используется принцип накопления энергии с помощью корреляционного приемника. Зондирующий СШП-сигнал излучается пачками импульсов, расположен-

ными по псевдослучайному закону на интервале 800 нс внутри периода повторения 1 мкс. Для устранения фликер-шумов при усилении принятых сигналов формируется низкая (15 кГц) промежуточная частота усилителя приемного устройства. Зондирующие сигналы излучаются пачками из 32 импульсов, расположенных по псевдослучайному закону с последующей паузой излучения 32 мкс. Сигнал промежуточной частоты поступает на аналого-цифровой преобразователь. Дальнейшая обработка, включающая перенос на нулевую частоту, низкочастотную и согласованную фильтрацию, детектирование движений и дыхания осуществляется цифровым приемником устройства обработки. С целью реализации малого джиттера использовались специальный высокостабильный генератор тактовых импульсов и быстродействующая логика в трактах формирования зондирующего импульса и импульса запуска корреляционного приемника. Особенностью разработанного устройства является реализация высокой временной стабильности излучаемого сигнала и малого джиттера при максимальном использовании энергии формируемой последовательности. Для накопления информации о дыхании необходима долговременная стабильность положения СШП-сигнала не хуже 1 пс. Эта задача решена путем адаптивной программно-аппаратной стабилизации положения зондирующего сигнала во времени [13].

Для мониторинга движений объектов часто необходимо иметь дополнительную угловую координату, позволяющую отобразить объекты на плоскости. Данная координата может быть получена при использовании для приема антенной решетки из СШП-антенн с последующей программной обработкой для получения углового положения объекта [2].

На рис. 6 приведена структурная схема для мониторинга движений объектов при помощи антенной решетки.

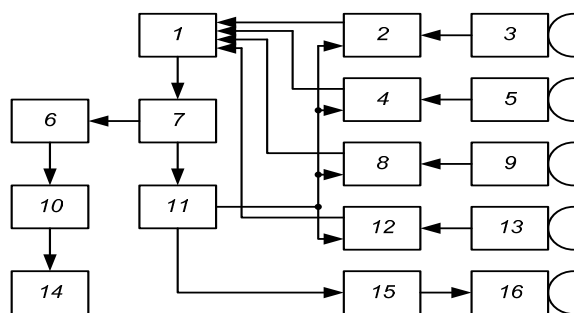


Рис. 6. Структурная схема антенной решетки для определения угловых координат объекта

Схема работает следующим образом. Генератор зондирующих импульсов (15) формирует СШП-сигнал длительностью 0,2 нс, который через передающую антенну (16) с шириной диаграммы направленности 90° излучается в окружающее пространство. Отраженный от объектов сигнал поступает на антенную решетку из четырех приемных антенн (3, 5, 9, 13). Выходной сигнал каждой приемной антенны поступает на преобразователь стробоскопический (2, 4, 8, 12) и далее на АЦП (1). С блока разветрок (11) на преобразователи стробоскопические поступает сигнал запуска, формирующий выборку сигнала на выходе антенны

на заданной задержке (координате дальности). Сигналы промежуточной частоты с выхода преобразователя стробоскопического идут на входы блока АЦП, где параллельно нормируются, фильтруются и оцифровываются. Оцифрованные данные из блока АЦП передаются на блок цифровой обработки (6) через интерфейс (7) с целью согласованной фильтрации и формирования многолучевой диаграммы направленности. После первичной обработки данные поступают на дальнейшую обработку в одноплатный компьютер (10), в котором проводится пороговый анализ, устранение ложных целей, селекция движущихся целей. Обработанные данные с прибора посылаются на ПК (14) для отображения движений на экране монитора.

Для получения угловой координаты использована антенная решетка с числом элементов, равным четырем. Элементы решетки расположены с шагом в половину длины волны, соответствующей центральной частоте спектра сигнала. Ширина диаграммы направленности одного антенного элемента составляет 90°. Формирование лучей осуществляется суммированием выходных сигналов каналов с разными задержками. Дискрет задержки соответствует интервалу дискретизации, равному 30 пс.

Недостаточность теоретической базы для создания СШП техники и технологии, как в системном плане, так и для создания отдельных устройств, особенно антенных систем, продолжает оставаться препятствием для дальнейшего развития.

**Шумовая СШП радиолокация.** Широкополосный шумовой радар с непрерывным излучением разработан в дециметровом диапазоне 1...2 ГГц и предназначен для обнаружения перемещающихся объектов за непрозрачными препятствиями [14].

Структурная схема шумового радара показана на рис. 7.

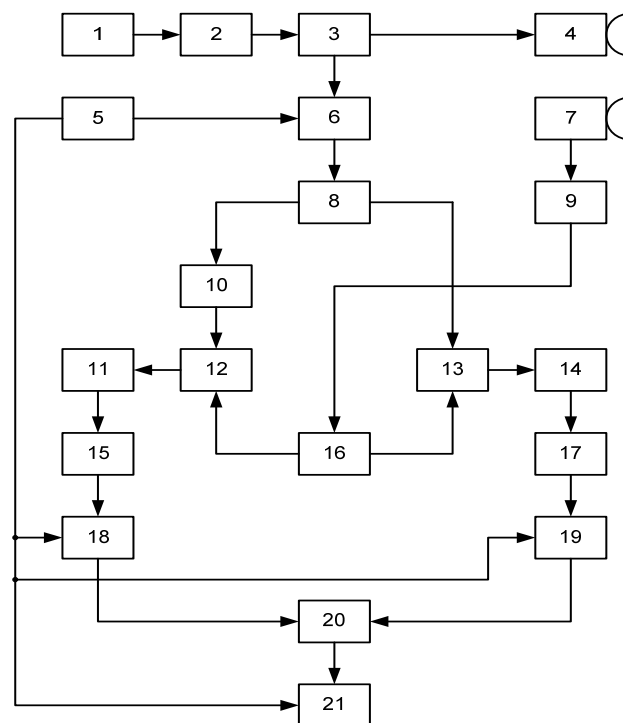


Рис. 7. Структурная схема шумового радара

Она состоит из: сверхширокополосного шумового генератора (1), полосно-пропускающего усилителя мощности (2), направленного ответвителя (3), передающей антенны (4), приемной антенны (5), малошумящего приемного усилителя (7), многоотводной линии задержки с электронным управлением (6), разветвителей (8 и 16), фазовращателя на 90° (10), балансовых диодных смесителей (10 и 13), интегрирующих фильтров нижних частот (11 и 14), аналоговых цифровых преобразователей (15 и 17), цифровых межобзорных компенсаторов (18 и 19), вычислителя среднеквадратического значения (20), устройства отображения информации (21), синхронизатора (5). Непрерывный шумовой сигнал формируется микроволновым хаотическим генератором на основе связанных транзисторных автоколебательных систем с нелинейной хаотической динамикой со средней мощностью 1 мВт и равномерным спектром, простирающимся в полосу частот от 1 до 4 ГГц. Сверхширокополосные хаотические колебания с выхода задающего генератора поступают на вход транзисторного многокаскадного усилителя с коэффициентом усиления по мощности равным 28 дБ.

Средняя частота 1500 МГц и полоса прозрачности 300 МГц усилителя мощности задаются двумя одинаковыми полосно-пропускающими фильтрами в микрополосковом исполнении, один из которых включен на входе первого, а другой на входе последнего усилительных каскадов. Полоса частот зондирующего шумового сигнала выбрана в дециметровом диапазоне 1...2 ГГц с учетом относительно слабого ослабления таких волн в средах распространения и в процессе проникновения сквозь непрозрачные препятствия.

Усиленный до необходимого уровня 18 дБм непрерывный шумовой сигнал в заданной полосе частот 300 МГц разделяется с помощью направленного микрополоскового отверстия на две неравные части. Большая часть мощности 15 дБм шумового сигнала поступает в передатчик радара и излучается в окружающее пространство конической передающей антенной с круговой поляризацией и коэффициентом усиления 17 дБ.

Шумовой опорный сигнал меньшей мощности 3 дБм с другого выхода направленного ответвителя поступает на вход приемника с двумя квадратурными каналами корреляционной обработки, каждый из которых содержит многоотводную с электронным управлением линию задержки на восемь секций с постоянными задержками сигнала в диапазоне частот 1...2 ГГц. Каждая микроволновая секция задержки выполнена в виде отрезка коаксиального кабеля заданной длины и обладает дополнительным, рассчитанным ослаблением для того, чтобы сделать равными средние мощности задержанных сигналов во всех секциях. Переключение секций в многоотводной линии задержки производится с помощью микрополосковой схемы, которая содержит направленные разветвители и балансовые сумматоры. Электронное управление направленных разветвителей и балансовых сумматоров производится тремя группами электронных ключей на быстродействующих р-и-п диодах. Электрические ТТЛ-импульсы для переключения р-и-п диодов вырабатываются

быстродействующей цифровой схемой, управление которой осуществляется в цифровом виде двоичной кодовой последовательностью, формируемой синхронизатором.

Блоком синхронизации является интерфейсная плата цифровой обработки сигналов в персональном компьютере.

Непрерывные во времени шумовые отражения от объектов, находящихся в различных стробах дальности за препятствием, поступают на вход приемной конической антенны с параметрами, такими же как у передающей антенны. На выходе приемной антенны включен малошумящий твердотельный линейный усилитель с коэффициентом усиления не менее 30 дБ.

Принятый и усиленный сигнал в полосе частот 300 МГц разделяется с помощью направленного микрополоскового разветвителя на два канала квадратурной обработки.

Корреляционное перемножение между опорными шумовыми сигналами, задержанными в многоотводной линии задержки, и принятыми зондирующими сигналами производится балансными диодными смесителями в квадратурных каналах взаимно корреляционной обработки. Опорный шумовой сигнал на уровне 3 дБм с выхода многоотводной линии задержки также разделяется на два канала квадратурной обработки, в одном из которых производится фазовый сдвиг на 90 градусов для всех спектральных составляющих опорного сигнала в полосе частот 300 МГц.

Корреляционное произведение между опорным сигналом и шумовыми отражениями выделяется в виде сигнала разностной частоты в полосе частот порядка сотни мегагерц на выходе балансовых диодных смесителей в квадратурных каналах взаимно корреляционной обработки.

Принятый радаром сигнал содержит многочисленные поступления от отдельных рассеивателей и отражателей в различных стробах дальности. Однако только зондирующие сигналы, отраженные от объекта в подходящем стробе дальности, будут коррелировать после перемножения с опорным сигналом, задержанным на требуемое время в многоотводной линии задержки.

Интегрирование широкополосных шумовых сигналов с выхода каждого квадратурного балансового смесителя производится двухкаскадными, пассивными RC-фильтрами с граничной частотой порядка кГц. Дальнейшее усреднение сигналов выполняется активными фильтрами низких частот с полосой пропускания порядка 1 кГц. Профильтрованные и усредненные аналоговые сигналы в квадратурных каналах поступают на входы аналоговых цифровых преобразователей. Окончательное интегрирование усредненных сигналов, а также управление цифровой схемой переключения задержек производится интерфейсной платой цифровой обработки сигналов в ПК.

К достоинствам широкополосных и сверхширокополосных шумовых радаров можно отнести то, что они позволяют однозначно измерять с высоким разрешением дальность и скорость объектов, а также обладают прекрасными свойствами в отношении по-

мехоустойчивости, скрытности, низкой вероятности обнаружения и электромагнитной совместимости с другими радиотехническими средствами, включая традиционные узкополосные системы.

Недостатком шумовых радаров является маскирование полезного сигнала. Полезный сигнал цели в определенном элементе дальности находится на шумовом фоне сигналов, отраженных от местных предметов, расположенных в других элементах дальности, и проникающего сигнала передатчика.

---

#### 4. Выводы

---

Проведенный анализ работ в области подповерхностной локации показал следующее:

1. Для преград, обладающих слабым поглощением ЭМВ успешно применяется метод обнаружения человека с гармоническим зондирующим сигналом;

2. При возможности обеспечения человека маркерами с нелинейными элементами для контроля его местоположения за непрозрачными преградами можно эффективно использовать методы нелинейной и параметрической радиолокации;

3. СШП и шумовая радиолокация позволяют определить координаты человека за преградами и в завалах с наибольшей точностью, однако их конструктивное исполнение отличается наибольшей сложностью.

Дальнейшие исследования предполагается проводить в направлении комбинирования СШП технологии и нелинейной радиолокации.

---

#### Литература

1. Бугаев, А. С. Радиолокационные методы выделения сигналов дыхания и сердцебиения [Текст] / А. С. Бугаев [и др.] // Радиотехника и электроника. – 2006. – Т.51, №10. – С.1224-1239.
2. Андриянов, А. В. Устройства для обнаружения и мониторинга живых и движущихся объектов с использованием короткоимпульсных сверхширокополосных измерительных сигналов [Текст] / А. В. Андриянов [и др.] // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009. – №1-2. – С. 73-82.
3. Вовшин, Б. М. Процедуры обнаружения подвижных объектов за преградами [Текст] / Б. М. Вовшин, А. Ю. Гринев, Д.В. Фадин // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009. – №1-2. – С.83-94.
4. Иммореев, И. Я. Возможности и особенности сверхширокополосных радиосистем [Текст] / И. Я. Иммореев // Прикладная радиоэлектроника. – 2002. – Т.1, №2. – С. 122-139.
5. Бугаев, А. С. Дистанционный контроль параметров кардиореспираторной системы человека с помощью радиолокационных средств [Текст] / А. С. Бугаев [и др.] // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – №10. – С.24-31.
6. Биорадиолокация [Текст]: монография / Абрамов, А. В. [и др.]; под ред. А. С. Бугаева, С. И. Ивашова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 396 с.
7. Пилягин, В. В. Радиолокационный измеритель местоположения скрытых под поверхностью объектов [Текст] / В. В. Пилягин // Радиотехника. – 2001. – №5. – С.41-47.
8. Беляев, В. В. Обнаружение объектов средствами нелинейной радиолокации [Текст] / В. В. Беляев, А. Т. Маюнов, С. Н. Разиньков // Радиотехника. – 2003. – №10. – С.24-26.
9. Приборы поиска / СМП-1П (радиолокационная система поиска с использованием пассивных маркеров) [Электронный ресурс] / ЗАО «Средства спасения». – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.spasenie-mchs.ru/catalogue/item-39/> - Загл. С экрана.
10. Щербаков, Г. Н. Параметрическая локация – новый метод обнаружения скрытых объектов / Г. Н. Щербаков // Специальная техника. – 2000. – №4. – С. 52-57.
11. Батраков, Д. О. Применение Е-импульса [Текст] / Батраков Д. О. [и др.] // Радиотехника и электроника. – 1991 – Т.36, №2 – С. 303-307.
12. Иммореев, И. Я. Сверхширокополосные радары. Особенности и возможности [Текст] / И. Я. Иммореев // Радиотехника и электроника. – 2009. – Т.54, №1. – С. 5-31.
13. Пат. RU 2258942, МПК<sup>7</sup> G01S13/00. Способ стабилизации временного положения сверхширокополосного сигнала и локатор для мониторинга живых объектов, реализующий этот способ [Текст] / Андриянов А. В., Икрамов Г. С., Курамшев С. В. – 2004128488/09; заявл. 28.09.2004; опубл. 20.08.2005, Бюл. № Зарегистрировано в Госреестре изобретений РФ 20.08.2005.
14. Калинин, В. И. Широкополосный шумовой радиолокатор с корреляционной обработкой для обнаружения движущихся объектов / В. И. Калинин, В. В. Чапурский // Радиотехника. – 2005. - №3. – С. 51-56.