

УДК 527.624

**Методы построения РЛС, встроенных в комплексные охранные системы**

Маркив Р.А.

В статье рассмотрены методы построения комплексных охранных систем с встроенными радиолокационными станциями (РЛС). Определены задачи РЛС по охране периметра и территории. Приведены алгоритмы обработки сигналов в радиолокаторе с непрерывным и квазинепрерывным зондирующими сигналами, а также результаты статистического эксперимента по обнаружению сигналов с учетом пропеллерного эффекта.

*Ключевые слова:* Радиолокационная станция, дальность действия, обработка сигнала, обнаружение сигналов, затухание.

относятся передающее и приёмное устройства [1]. В РЛС комплексных охранных системах они располагаются чаще всего в одном пункте (так называемые совмещенные РЛС), однако в некоторых охраняемых пунктах, представляющих помещения большого объема, приемник и передатчик разносятся на некоторое расстояние (двух- и многопозиционные РЛС). Реже применяются станции пассивной радиолокации, в которых передатчик отсутствует. Антенная система может быть общей для передатчика и приёмника (у совмещенной РЛС) или могут применяться отдельные антенны (у многопозиционных РЛС) [2]. Важной составной частью РЛС является индикатор, который позволяет оператору визуально контролировать зону ответственности. Во всех современных РЛС наряду с индикатором применяется ЦВМ, автоматизирующая многие операции по обработке принятых сигналов. Основные характеристики РЛС: точность измерений, разрешающая способность, предельные значения ряда параметров (максимальная и минимальная дальность действия, сектор и время обзора и др.), помехоустойчивость [1, 3]. К основным характеристикам РЛС относят также мобильность, её массу, габариты, мощность электропитания, срок службы, количество обслуживаемого персонала и многие другие эксплуатационные параметры [1, 3].

Радиолокационная станция (РЛС), или радиолокатор, представляет собой устройство для дистанционного наблюдения за различными объектами (целями) методами радиолокации. К основным узлам РЛС

особенностью применения охранных РЛС является работа в местах постоянного присутствия людей, поэтому уровень электромагнитного излучения должен быть предельно низок, чтобы соответствовать действующим в стране санитарным правилам и нормам. При этом показатели качества обнаружения (в частности, дальность действия) должны достигаться не увеличением мощности передатчика, а повышением эффективности передачи информации, например, путем использования методов расширения спектра, совершенствованием методов и алгоритмов обработки данных [5-7].

Важной особенностью применения радиолокаторов во вневедомственной охране является то, что информация о предполагаемом нарушителе и о попытке проникновения на охраняемую территорию (объект) может поступать заблаговременно на автоматизированное рабочее место оператора.

Задачами РЛС по охране периметра и территории объектов являются:

- обнаружение движущихся целей;
- измерение дальности, азимута и радиальной скорости целей;
- распознавание классов целей (человек, группа людей, автомобиль);
- идентификация и автосопровождение целей;
- автоматическое построение радиолокационной карты охраняемой территории, неподвижных объектов, а также посторонних (вновь появившихся), в том числе движущихся целей;

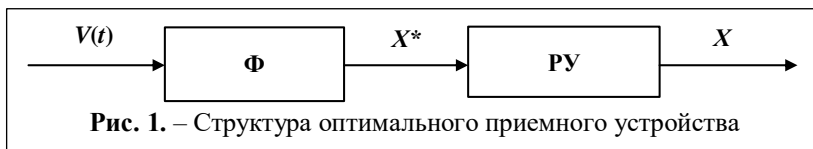


Рис. 1. – Структура оптимального приемного устройства

- привязка радиолокационной карты к топографической карте местности.

Вследствие того, что на вход приемного устройства системы поступает сумма полезного сигнала и помехи, вероятность правильного приема будет определяться отношением полезного сигнала к помехе. Для повышения вероятности правильного приема сигнала должна быть произведена предварительная обработка принятого сигнала, обеспечивающая увеличение отношения сигнал-помеха. Таким образом, средства предварительной обработки при приеме должны содержать два основных элемента (рис. 1): фильтр  $\Phi$ , обеспечивающий улучшение отношения сигнал/помеха, и решающее устройство  $\text{РУ}$ , выполняющее главные функции приема (обнаружение, различение, классификацию и восстановления сигналов) [1, 3-

5].

Алгоритмы обработки сигналов в радиолокаторе с непрерывным и квазинепрерывным зондирующими сигналами (ЗС), предназначенными для обнаружения человека или малоразмерного объекта, как правило, строятся по следующим принципам, обеспечивающим улучшение соотношения сигнал-помеха:

- метод накопления;
- частотная фильтрация;
- корреляционный метод;
- согласованная фильтрация;
- нелинейная фильтрация.

Все эти методы основаны на использовании различий свойств полезного сигнала и помехи. На рис. 2 представлена обобщенная структурная схема РЛС, реализующая эти принципы.

Для построения оптимальной обработки принятого сигнала в РЛС необходимо снизить влияние помеховых факторов на работу

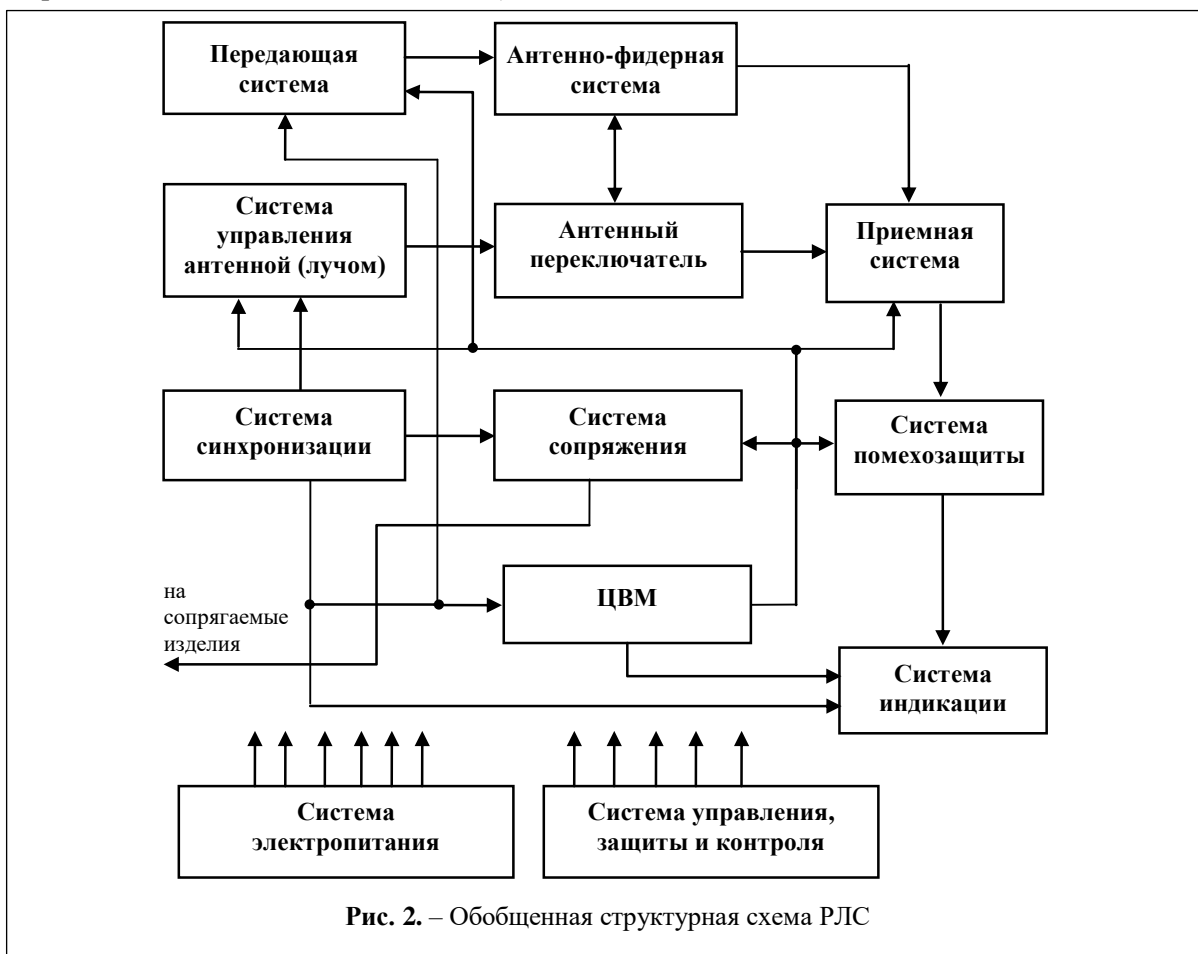


Рис. 2. – Обобщенная структурная схема РЛС

радиолокатора, которые значительно сокращают дальность обнаружения объектов и затрудняют чтение (расшифровку) изображения. Для эффективного использования радиолокатора необходимо знать характер помех, условия возникновения и возможности уменьшения их влияния на радиолокационное наблюдение [1, 3-5]. Рассмотрим некоторые пассивные помехи, которые необходимо учитывать при работе охранных РЛС, работающих в приземном слое атмосферы.

При охране больших площадей водных ресурсов наиболее сильное влияние оказывают частицы воды и тумана, которые рассеивают и поглощают часть электромагнитной энергии, излучаемой радиолокатором, что приводит к уменьшению дальности обнаружения объектов. Чем больший путь проходит сигнал через туман, тем значительно будет его ослабление, а значит и сокращение дальности радиолокационного обнаружения.

Дальность визуальной видимости находится в определенном соотношении с количеством воды в тумане. Следовательно, вызываемое туманом сокращение дальности обнаружения различных плавсредств может быть поставлено в зависимость от визуальной видимости. При визуальной видимости более 100 м сокращение дальности радиолокационного обнаружения незначительно, но при видимости менее 100 м, т.е. при плотных густых туманах, дальность радиолокационного обнаружения значительно сокращается. Имеются сообщения о сокращении дальности обнаружения на 40...50% при очень густых туманах.

Песчаные бури также уменьшают дальность радиолокационного обнаружения. Причем степень сокращения дальности, как и при тумане, зависит от содержания в воздухе твердых частиц. Дальность обнаружения при песчаных бурях и дымке несколько меньше, чем при тумане для одной и той же дальности визуальной видимости [1, 3].

Количество воды, содержащейся в единице объема, зависит от интенсивности осадков, а поэтому и дальность радиолокационного обнаружения зависит от количества

осадков. При малом количестве осадков отраженная ими энергия недостаточна, чтобы на экране появились сигналы, способные «забить» сигнал от объекта.

Вместе с тем при увеличении количества осадков наступает момент, когда отраженная от капель дождя энергия становится достаточной, чтобы вызвать свечение экрана радиолокатора, способное «забить» отметку сигнала от объекта. Этот эффект сильнее сокращает дальность обнаружения, нежели ослабление сигналов, в этих случаях максимальная дальность обнаружения определяется расстоянием, на котором интенсивность сигнала от объекта становится равной интенсивности сигналов от осадков.

Град и снег также сокращают дальность радиолокационного обнаружения, но главным фактором, влияющим на дальность обнаружения, является интенсивность осадков.

При спокойном море отражение радиолокационного луча от поверхности воды близко к зеркальному и направлено в сторону от антенны. Если же на поверхности моря имеются волны, то часть отраженной от них электромагнитной энергии воспринимается радиолокатором, на экране появляются сигналы от волн.

Мощность сигналов зависит от степени волнения и быстро уменьшается с увеличением расстояния. При небольшом волнении на экране РЛС наблюдается множество слабых сигналов, которые меняют свое место и яркость с каждым оборотом антенны. При значительном волнении сигналы от волн сгущены и засвечивают полностью большую часть площади в центре экрана. Современные судовые радиолокационные станции при высоте антенны до 20 м воспринимают сигналы от волн в радиусе до 4 миль.

Засветка центра экрана РЛС сигналами от волн в значительной степени затрудняет радиолокационное наблюдение. Если же сигналы от объекта по силе не превосходят сигналы от волн, то обнаружить их на фоне помех невозможно.

В некоторых случаях сигналы от судов могут быть выделены среди помех от волне-

ния. Для этого используют схему временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ).

Когда волнение отсутствует, регулятор ВАРУ должен быть выведенным, так как нет необходимости уменьшать чувствительность приемника на малых расстояниях. При волнении, помехи от которого желательно уменьшить, необходимо правильно отрегулировать с помощью ВАРУ величину начального усиления. Если начальное усиление будет уменьшено незначительно, то отражение от волн по-прежнему будет давать яркие сигналы, способные забить отметки судов. Если же начальное усиление будет уменьшено очень сильно, то сигналы не только от волн, но и от других судов будут не различимы.

Иногда на экране радиолокатора появляются сигналы в виде точек, пунктирных линий или сплошных линий. Положение таких сигналов на экране и их взаимное расположение может быть разнообразным, но наиболее часто встречаются сигналы в виде спиральных пунктирных линий [3, 4, 6].

В качестве примера влияния помех на работу РЛС на рис. 3 приведен фрагмент экрана индикатора кругового обзора радиолокатора до и после межпериодной обработки. Видно, что цели, замаскированные метеорообразованиями, выделяются, а помехи от метеорообразований, местных предметов и других пассивных помех подавляются. Это благо-

приятно сказывается на траекторной обработке эхо-сигналов, измерении координат и скорости движения объектов.

В последнее десятилетие обострился вопрос об обнаружении малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [8, 9]. Одним из эффективных способов выделения таких объектов является способ, основанный на анализе доплеровского спектра частот эхо-сигналов. При скорости движения  $V_0$  смещение частоты непрерывного или квазинепрерывного сигнала составит  $F_d = 2V_0 \cos \alpha / \lambda$ , где  $\alpha$  – угол между вектором скорости и направлением на РЛС,  $\lambda$  – длина волны. За счет пропеллерного эффекта в спектре отраженных сигналов появляется дополнительный пьедестал с полосой  $\Delta F_d$ , расположенный вокруг частоты  $F_d$  с уровнем на 20...30 дБ ниже уровня основного сигнала. Для РЛС, работающих в Ку диапазоне, величина  $F_d$  достигает  $\pm 2$  кГц, а полоса  $\Delta F_d \approx 4...5$  кГц. Отсюда видно, что обработку эхо-сигналов целесообразно проводить либо на промежуточной частоте, либо в комплексном виде. Кроме того, для повышения информативности РЛС часть времени зондирования необходимо уделять излучению непрерывного или квазинепрерывного сигнала, что позволит повысить вероятность

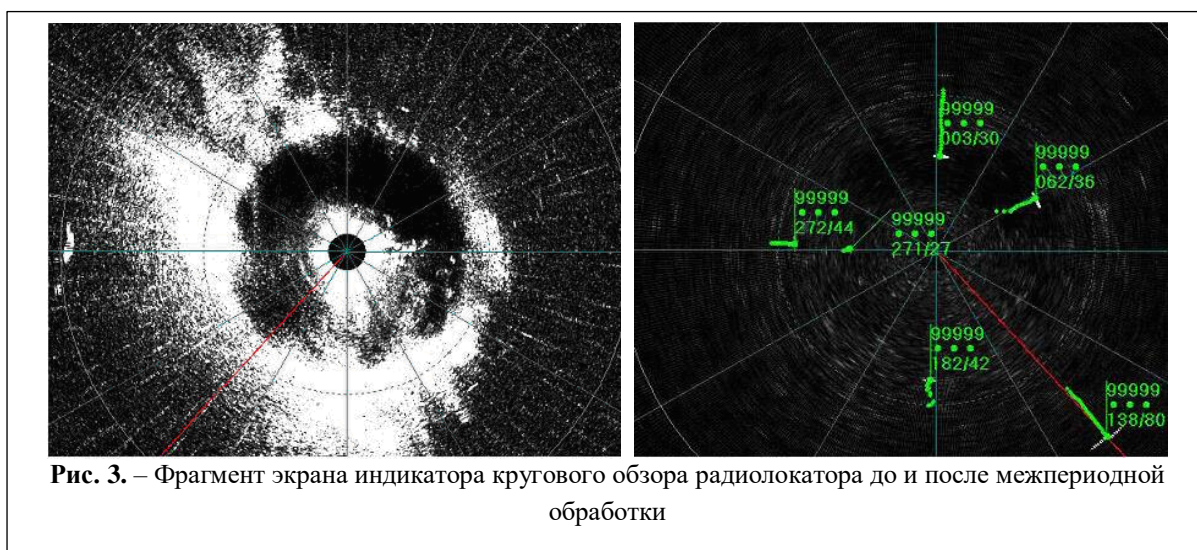
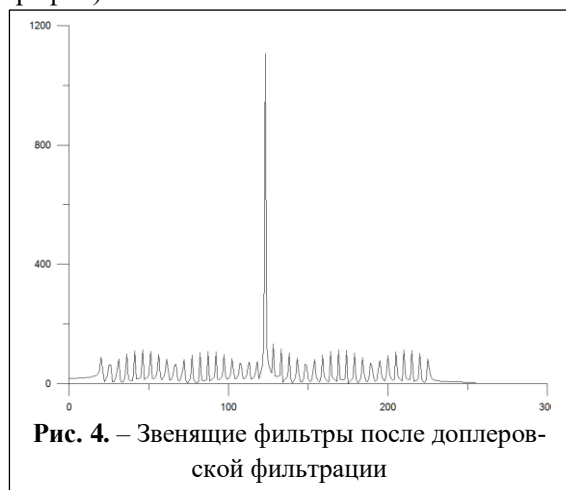


Рис. 3. – Фрагмент экрана индикатора кругового обзора радиолокатора до и после межпериодной обработки

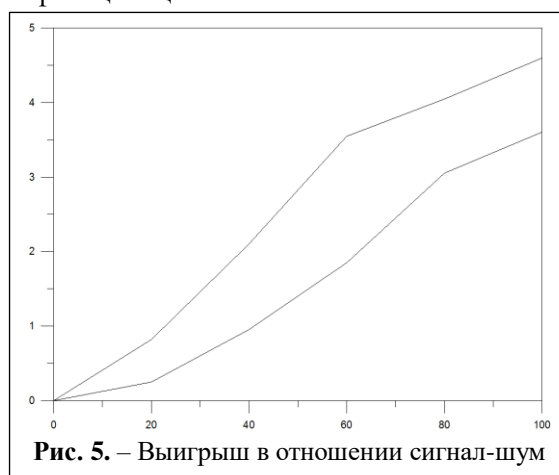
обнаружения БПЛА.

На рис. 4 представлен отклик устройства доплеровской фильтрации на модель эхосигнала БПЛА. Вокруг основной спектральной линии, которая соответствует отражению от корпуса БПЛА, расположены отклики сорока звенящих фильтров, перекрывающих весь возможный диапазон  $\Delta F_d$ . Энергия этих гармоник может быть использована для повышения качества обнаружения. Для количественной оценки характеристик обнаружения с учетом пропеллерного эффекта был проведен статистический эксперимент для модели сигналов РЛС Ku-диапазона при вероятности ложной тревоги  $F = 10^{-3}$ . Для определения порога обнаружения по критерию Неймана-Пирсона использовался метод экстремальных статистик, позволяющий на два порядка сократить время моделирования. Период следования зондирующего сигнала принят равным 20 мкс, число импульсов в пачке – 400. На рис. 5 приведена зависимость выигрыша в пороговом отношении сигнал-шум (дБ) от относительного числа (в процентах) доплеровских фильтров анализа при среднем уровне отклике фильтра минус 20 дБ относительно центрального сигнала (верхний график) и минус 40 дБ (нижний график).



Таким образом, проведенные исследования показали, что для повышения эффективности работы РЛС, встроенных в комплексные охранные системы, необходимо уделять особое внимание борьбе с пассивными поме-

хами. Это обусловлено тем, что такие системы работают на небольших расстояниях в пределах прямой видимости и в зону их ответственности попадает земная поверхность с находящимися на ней строениями, посадками и другими мешающими радиолокационному наблюдению объектами. Кроме того, аппаратура обнаружения малозаметных объектов должна проводить спектральный анализ сигналов и выявление наличия пропеллерного доплеровского эффекта. Это позволит повысить вероятность правильного обнаружения и проводить более надежную классификацию целей.



### Литература

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
2. Воскресенский Д.И. Антенны с обработкой сигнала. Учебное пособие для вузов. – М.: Сайнс-пресс, 2002. – 80 с.
3. Сайбель А.Г. Основы радиолокации. – М.: Советское радио, 1961. – 384 с.
4. Радиолокационные системы: учебное пособие / В.В. Ахтияров, С.И. Нефедов, А.И. Николаев и др.; под ред. А.И. Николаева. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2018. – 349 с.
5. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации / Под ред. В.Б. Пестрякова. – М.: Сов. радио, 1973. – 424 с.
6. Свистов В.М. Радиолокационные сигналы и их обработка. – М.: Сов. радио, 1977. – 448 с.
7. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. / Под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
8. Многолучевые радиолокаторы в составе охранных комплексов. Антитеррор / А.А. Лавров, И.К. Антонов, А.С. Ненашев, С.А. Чернов; под

ред. *И.К. Антонова*. – М.: Радиотехника, 2017. – 208 с.

9. *Лавров А.А., Антонов И.К.* Многолучевые радиолокаторы: борьба с дронами. – М.: Радиотехника, 2021. – 249 с.

**Поступила 05 июня 2021 г.**

---

The article discusses the methods of building complex security systems with integrated radar stations (radars). The tasks of the radar for perimeter and territory protection are defined. The algorithms of signal processing in a radar with continuous and quasi-continuous probing and signals, as well as the results of a statistical experiment on signal detection taking into account the propeller effect, are presented.

*Key words:* Radar station, range, signal processing, signal detection, attenuation.

---

*Маркив Роман Андреевич* – магистрант 2-го курса по направлению подготовки магистратуры 11.04.01 «Радиотехника» факультета радиоэлектроники и компьютерных систем Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* markivr@mail.ru.

*Адрес:* 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23.