



Современные средства для пассивного автоматического пеленгования и идентификации РЛС и их носителей

Владимир Безверхий, Алексей Олейников, Анатолий Маргелов, Игорь Сурженко, Олег Безверхий

В статье описан состав базового ряда серийных радиоэлектронных аппаратных и аппаратно-программных устройств и узлов нового поколения, которые обеспечивают возможность создания различных конфигураций объектно-ориентированной судовой аппаратуры для автоматического пеленгования, определения параметров и идентификации типов излучающих радиолокационных станций (РЛС) и их носителей. Представлена базовая структурная схема пеленгатора-идентификатора для оснащения морских судов различного назначения и водоизмещения — от патрульных судов и катеров таможенных и пограничных служб до судов из состава флота.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение экипажей морских судов информацией о наличии и типах объектов, которые находятся в зоне ответственности этих судов или представляют для них определённый интерес, является важной оперативной задачей и, как правило, осуществляется с помощью пассивных и активных оптических и радиотехнических средств. Предметом данной статьи являются вопросы реализации оптимизированных по критерию «эффективность—затраты» пассивных радиотехнических средств, а именно пеленгаторов-идентификаторов, которые обладают, помимо принципиальной скрытности применения, рядом других важных преимуществ по сравнению с активными радиолокационными средствами.

Во-первых, необходимая дальность действия пассивных пеленгаторов достигается существенно меньшими энергетическими и массогабаритными затратами, что очевидно следует из сравнения формул дальности радиолокации (1) и дальности пассивного пеленгования (2):

$$D_{\text{РЛС}} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер.РЛС}} \cdot G_{\text{ант.РЛС}}^2 \cdot S_{\text{эфф.}} \cdot \lambda^2}{16\pi^2 \cdot P_{\text{пр.РЛС}}}} \quad (1)$$

$$D_{\text{ПП}} = \sqrt{\frac{P_{\text{пер.РЛС}} \cdot G_{\text{ант.РЛС}} \cdot G_{\text{ант.ПП}} \cdot \lambda^2}{16\pi^2 \cdot P_{\text{пр.ПП}}}} \quad (2)$$

Здесь $P_{\text{пер.РЛС}}$ — выходная мощность передатчика РЛС, Вт;

$G_{\text{ант.РЛС}}$ — коэффициент усиления антенны РЛС;

$P_{\text{пр.РЛС}}$ — реальная чувствительность приёмника РЛС, Вт;

$S_{\text{эфф.}}$ — эффективная площадь рассеяния (ЭПР) обнаруживаемого объекта, м²;

$G_{\text{ант.ПП}}$ — коэффициент усиления антенны пеленгатора;

$P_{\text{пр.ПП}}$ — реальная чувствительность приёмника пассивного пеленгатора, Вт;

λ — длина волны при передаче/приёме, м.

Практически это означает, что пассивный пеленгатор (ПП), построенный на основе детекторных приёмников с

чувствительностью 10⁻⁷ Вт и установленный на объекте с ЭПР до 3000 м², будет обеспечивать более раннее (упреждённое) обнаружение объекта с излучающей стандартной навигационной РЛС, по сравнению с обнаружением этой РЛС носителя такого пеленгатора.

Во-вторых, частотные характеристики антенн и приёмников пассивного пеленгатора принципиально могут быть реализованы в весьма широком диапазоне (с перекрытием до 4), что обеспечивает возможность обнаружения и пеленгования РЛС, работающих на самых различных частотах и имеющих различное назначение.

В-третьих, применение специальных средств и алгоритмов обработки сигналов, обнаруживаемых пассивным пеленгатором, позволяет определять обширный перечень параметров излучающих РЛС, совокупность которых обеспечивает высокую вероятность определения типа не только радиолокационной станции, но и её носителя. К таким параметрам относятся, в первую очередь, несущая частота передатчика РЛС, длительность, период повторения и форма зондирующих импульсов,

форма и ширина диаграммы направленности, период сканирования антенны РЛС и т.п.

Таким образом, морские суда или наземные посты, оснащенные пассивной аппаратурой автоматического пеленгования и идентификации РЛС с соответствующим отображением и обработкой накапливаемой информации, обладают важным функциональным преимуществом, которое радикально повышает эффективность несения службы по охране морских государственных границ, природных ресурсов, экономических зон и т.п. Кроме того, применение такой аппаратуры повышает безопасность судоходства, а также обеспечивает возможность предупреждения экипажа о непрерывном облучении судна сигналами специальных РЛС, что, как правило, свидетельствует об угрозе применения автоматически наводимого оружия.

СОСТАВ БАЗОВОГО РЯДА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И УЗЛОВ

Устройства и узлы для определения направления на излучающие РЛС

Большинство известных способов определения направления прихода принимаемых радиолокационных сигналов основаны на вычислении и преобразовании фазовых и/или амплитудных соотношений в приёмных каналах, подключенных к антеннам, которые имеют определённые диаграммы направленности и определённым образом ориентированы на объекте. Нами



Корабль сопровождения конвоя

сделан выбор в пользу способа амплитудного пеленгования, традиционно используемого в судовой аппаратуре, как наиболее устойчивого к искажениям измерений в результате многократного и случайного приёма одного и того же сигнала, отражаемого от водной поверхности, элементов конструкции и оснащения судна и т.п.

Антенная система амплитудного пеленгатора состоит из нескольких антенн, диаграммы направленности (ДН) которых ориентированы в одной плоскости и частично перекрываются. Угол α между максимумами ДН каждой антенны зависит от количества антенн, которое выбирается с учётом обеспечения необходимой точности пеленгования. Для N -канального пеленгатора этот угол равен $\alpha = 360^\circ / N$, при этом максимумы ДН ориентированы на углы $\alpha, 2\alpha, \dots, N\alpha$.

Если принимаемый сигнал находится в пределах ширины ДН, например, канала M , то в этом канале, естественно, будет измерен сигнал наибольшей амплитуды, а соотношения между амплитудами сигналов канала M и каналов $M-1, M+1$ могут быть использованы для более точного определения направления. Не углубляясь в математические выражения, следует отметить, что на точ-

ностные характеристики амплитудного пеленгатора в той или иной мере влияют неидентичность коэффициентов передачи в приёмных каналах, количество каналов (то есть ширина ДН каждой антенны), смещение максимума ДН относительно геометрической оси антенны. При прочих равных условиях наивысшая достижимая точность ам-

плитудного пеленгования достигается в точках, в которых происходит переход от одного канала с максимальной амплитудой к другому, то есть в равносигнальных точках пересечения лепестков ДН соседних каналов (рис. 1).

Базовый состав антенн и приёмников для пеленгования

Состав антенн и приёмников выбран из соображений оптимального сочетания их номенклатуры и характеристик с возможностью быстрого, на заказ, создания различных конфигураций пеленгаторов, которые предоставляют заказчикам широкий выбор подходящих технических, массогабаритных и стоимостных характеристик.

Номенклатура разработанного ряда базовых антенных и приёмных устройств состоит из следующих изделий:

- сверхширокополосных (с перекрытием от 2 до 4) антенн, предназначенных для реализации пеленгаторов, которые могут обеспечивать обнаружение, пеленгование, определение параметров и идентификацию практически всех существующих типов РЛС в диапазоне длин волн от десятков до единиц сантиметров;
- относительно узкополосных (литерных) антенн, предназначенных для реализации недорогих пеленгаторов с ограниченным, но тактически приемлемым перечнем типов пеленгуемых и идентифицируемых РЛС (например, только навигационных РЛС или любых РЛС, излучающих в ограниченном диапазоне);
- совместимых с антеннами по диапазонам входных частот приёмников с усилением и/или детектированием СВЧ-сигналов, обеспечивающих тактически приемлемую чувствительность и допустимую межканальную неидентичность для пеленгования с необходимой точностью и на достаточной дистанции;
- видеосузителей, обеспечивающих необходимую полосу пропускания и

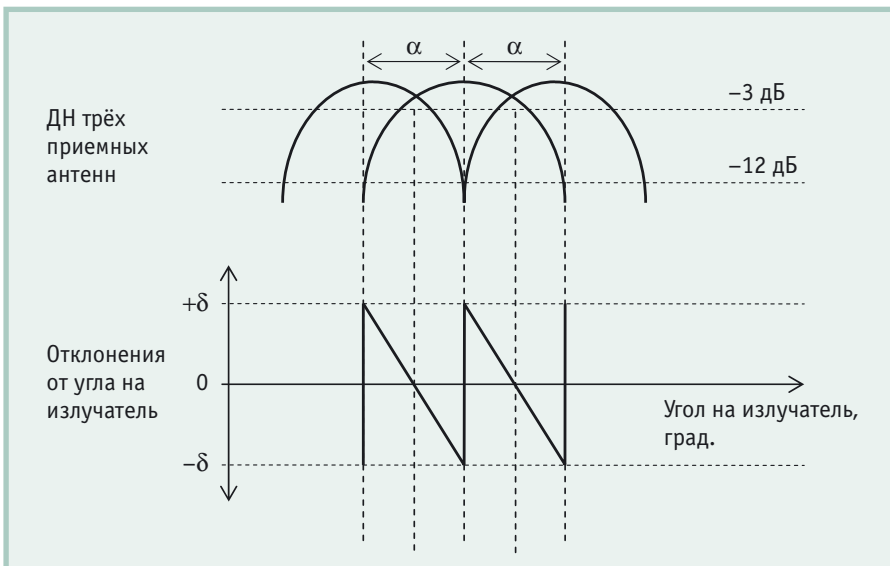


Рис. 1. Идеализированная измерительная характеристика трёх смежных каналов

коэффициент усиления детектированных сигналов РЛС.

Перечисленные устройства и узлы показаны на рис. 2.

Базовый состав модулей аналого-цифрового преобразования и вычисления пеленга

Состав модулей АЦП и вычисления пеленга определён таким образом, чтобы их применение обеспечивало возможность создания пеленгаторов, имеющих различное число каналов (то есть различную точность пеленгования) и работающих с различными видами входных сигналов в приемлемом динамическом диапазоне. Следует отметить, что функциональные алгоритмы таких модулей обеспечивают наряду с вычислением направления прихода каждого принятого сигнала также и определение его длительности и амплитуды.

Номенклатура модулей АЦП и вычисления пеленга включает в себя:

- узлы аналого-цифрового преобразования уровня видеосигналов на выходах приёмников в коды амплитуды, предназначенные для реализации пеленгаторов с приемлемыми значениями таких характеристик, как динамический диапазон и минимальная длительность пеленгуемых входных сигналов;
- вычислительный модуль, предназначенный для построения пеленгаторов с различным числом приёмных каналов путём наращивания числа таких вычислительных модулей;
- модуль объединения, синхронизации и кодирования данных от вычислительных модулей.

Модули АЦП и вычислителя пеленга показаны на рис. 3.

Устройства и узлы для определения несущей частоты пеленгуемых радиосигналов

Наличие в составе пеленгаторов-идентификаторов устройства для определения несущей частоты радиосигналов существенно повышает достоверность идентификации РЛС и их носителей не только по причине получения дополнительного идентификационного признака, но и в силу получаемой при этом возможности применения



Рис. 2. Антенны и приёмники пеленгования

более утончённых алгоритмов сортировки и статистической обработки данных о параметрах пеленгуемых сигналов. Такие алгоритмы позволяют определять с высокой достоверностью целый ряд весьма специфических и эффективных идентификационных признаков.

Из всего многообразия известных методов и средств определения несущей частоты радиосигналов нами выбран метод беспойскового и мгновенного, то есть в течение обнаруженного импульса, измерения частоты излучения РЛС. Использование этого метода не только гарантирует практически 100-процентную вероятность обнаружения излучающих РЛС за время, не превышающее один период обзора антенны РЛС, но и наиболее полно расширяет возможности и достоверность идентификации.

Весьма серьёзным препятствием для широкого применения в пеленгаторах-идентификаторах мгновенных измерителей несущей частоты, обеспечивающих измерение частоты короткоимпульсных (70-100 нс) сигналов, являлись либо неприемлемые массогабаритные характеристики аппаратуры (при использовании «гребенки» узкополосных фильтров, перекрывающей широкий диапазон обнаружения), либо высокая технологическая сложность и, следовательно, стоимость тонкоплёночных широкополосных СВЧ-датчиков радиочастоты (фазовых мостов, полосно-пропускающих фильтров и т.п.).

В результате целенаправленной работы нами создан ряд оригинальных, достаточно недорогих и простых в изготовлении и настройке частотно-зависимых СВЧ-узлов (частотных дискриминаторов). Эти узлы являются основой унифицированного ряда компактных, функционально и конструктивно завершённых модулей приёмников — мгновенных измерителей несущей частоты импульсных и непрерывных радиосигналов.

На рис. 4 показан один из конструктивно одинаковых модулей, полный ряд которых обеспечивает возможность мгновенного измерения частоты радиосигналов в диапазоне от 0,4 до 18,0 ГГц со среднеквадратическим отклонением от истинных значений не более 10 МГц в низкочастотной части указанного диапазона и не более 60 МГц в его высокочастотной части. По совокупности точностных, массо-

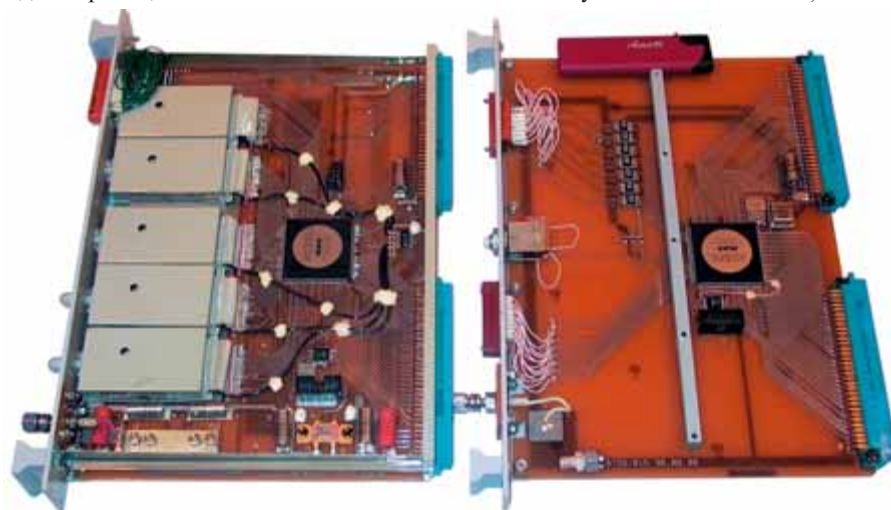


Рис. 3. АЦП и вычислитель пеленга

габаритных и стоимостных характеристик эти модули не имеют отечественных аналогов.

Устройства и узлы для статистической обработки, идентификации и отображения

Успешное решение задачи разделения (сортировки) хаотического потока входных сигналов на группы (пачки), каждая из которых наиболее вероятно относится к излучениям отдельной РЛС, является одним из важнейших условий для эффективного использования пеленгаторов-идентификаторов по назначению.

Проблема достижения высокой достоверности результатов сортировки обусловлена не только необходимостью обеспечения высокой точности и незначительной дисперсии результатов определения основных параметров каждого принимаемого сигнала (пеленга, несущей частоты, длительности и амплитуды), но и необходимостью корректного учёта ряда факторов, в основе которых лежат особенности распространения и приёма радиолокационных сигналов в реальных условиях. Многолетний опыт разработок и практики применения пеленгаторов-идентификаторов показывает, что без глубокого анализа и учёта совокупности таких реальных процессов, как множество хаотических путей прихода одного и того же сигнала в точку приёма, случайный пропуск в приёме сигналов и искажения измерений при одновременном приходе в точку приёма сигналов от разных РЛС, изменения интенсивности и характера приёма сигналов при удалении или приближении РЛС и т.д., практически невозможно достигнуть стабильных и достоверных результатов определения характеристик и идентификации РЛС.

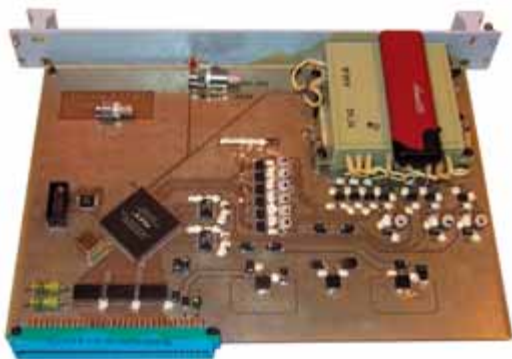


Рис. 4. Приёмник-измеритель несущей частоты

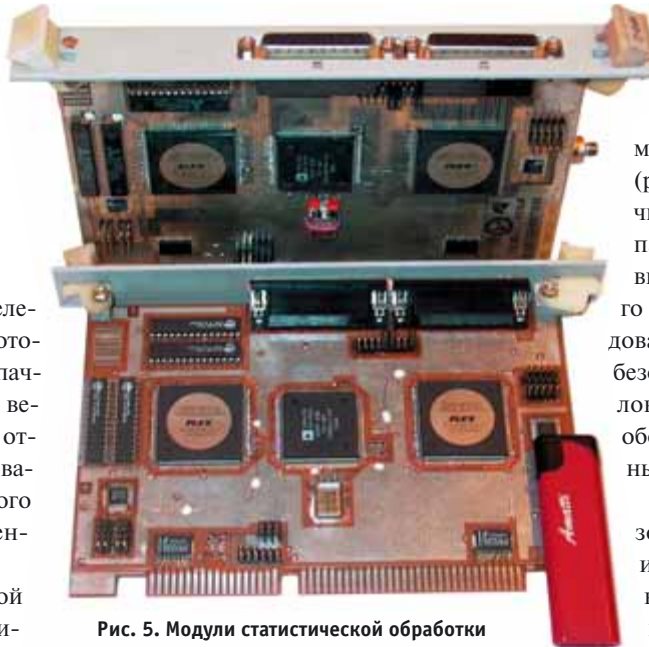


Рис. 5. Модули статистической обработки

С учётом изложенных факторов, а также благодаря возможностям современной аппаратной и вычислительной базы (ПЛИС, микроконтроллеров, мощных и компактных компьютеров и т.п.) в нашей аппаратуре реализован эффективный многоуровневый процесс обработки данных о параметрах пеленгуемых РЛС. При этом первый уровень обработки начинается с алгоритмов вычислений и принятия определённых решений в реальном масштабе времени ещё на этапе измерения параметров каждого принимаемого сигнала в отдельности, а последний уровень реализуется на базе бортового компьютера специальным программным обеспечением в квазиреальном масштабе времени.

Промежуточные уровни вычислений, сортировки и принятия решений осуществляются в реальном масштабе времени по специальным алгоритмам, реализованным в аппаратно-программных модулях (спецвычислителях), показанных на рис. 5 и составляющих часть базового ряда устройств для статистической обработки и идентификации. Остальную часть базовых средств обработки, идентификации и отображения составляют одноплатный

компьютер MIC-2352 (фирма Advantech) и ряд

интерфейсных плат (RS-422/485, Ethernet, «Манчестер»), которые устанавливаются на 11-слотовой платформе MIC-2000 фирмы Advantech (рис. 6) вместе с двумя спецвычислителями и модулем флэш-памяти. Необходимо отметить высокую надёжность выбранного нами вычислительного оборудования, которое четвёртый год безотказно работает в жёстких условиях эксплуатации судового оборудования не только в северных, но и в тропических широтах.

Представленная на рис. 7 базовая структура пеленгатора-идентификатора обеспечивает возможности гибкого комплексирования разнообразных конфигураций, адаптируемых

к требованиям заказчика по тактико-техническим и стоимостным характеристикам, возможностям размещения на объекте, условиям эксплуатации и т.п. Используемая конструктивная база узлов и модулей, в большинстве своём основанная на применении кассет и ячеек стандарта Евромеханика фирмы Vorla, позволяет предельно сокращать сроки и стоимость конструктивной адаптации к условиям размещения на конкретном объекте. При этом, как правило, оригинальными конструкциями являются блоки с антенно-приёмными устройствами, форма и размеры которых в наибольшей степени зависят от требований к точности пеленгования, дальности действия и вероятности мгновенного обнаружения и идентификации РЛС.

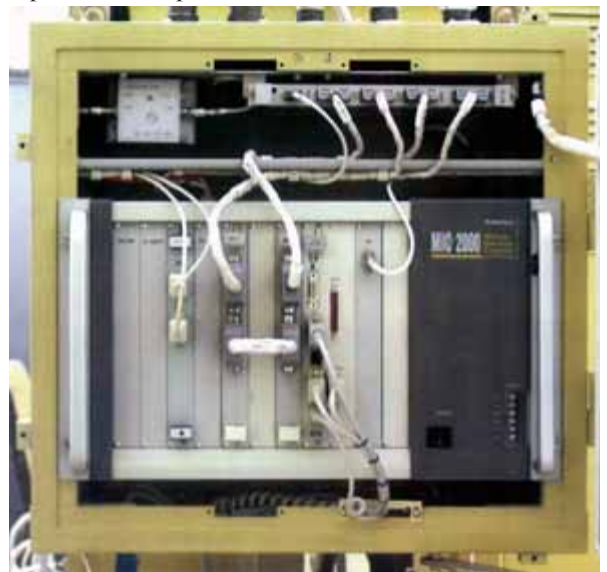


Рис. 6. Блок вторичной обработки и связи с АСУ корабля, реализованный на платформе MIC-2000

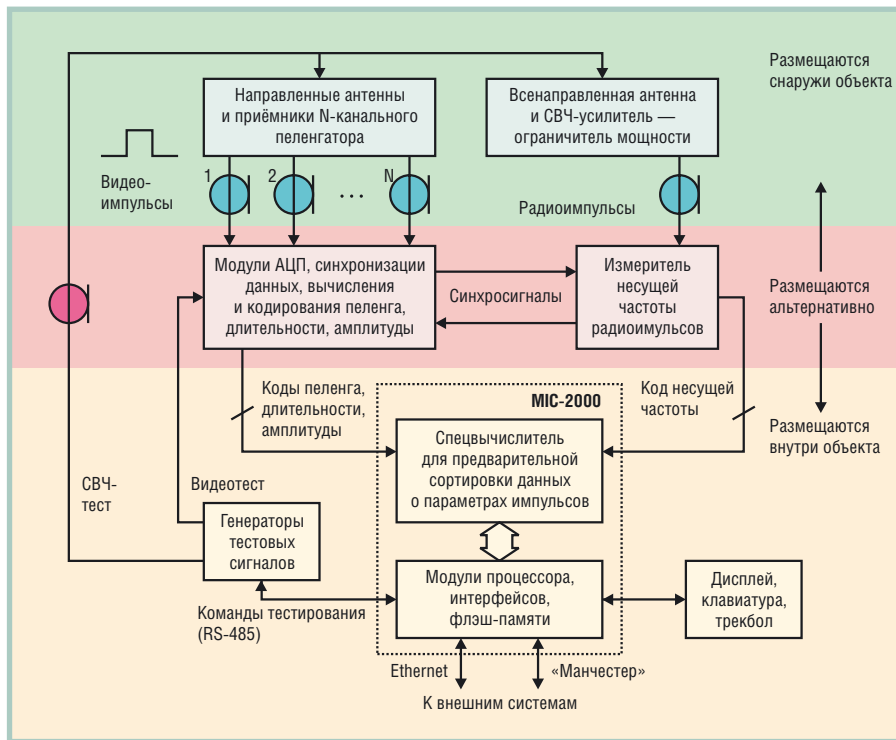


Рис. 7. Структурная схема пеленгатора-идентификатора для одного поддиапазона частот входных сигналов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешно проведённые заводские и государственные испытания, а также опыт эксплуатации аппаратуры в мак-

симальной конфигурации подтвердили правильность выбора номенклатуры, схемотехники, характеристик и конструктивных решений базового

ряда функциональных радиоэлектронных устройств и узлов. Многообразие их возможных применений, высокая надёжность, низкое энергопотребление и устойчивость к жёстким условиям эксплуатации предоставляют широкие возможности для создания автоматических систем информационного обеспечения в интересах различных служб и организаций. Энергичное развитие микроэлектроники и новых программных и аппаратных средств позволяет в рамках промышленных САПР, в частности, на основе распределённых Web-ориентированных структур, активно расширять перечень и функциональные возможности базового ряда модулей нового поколения.

Авторы выражают благодарность сотрудникам НПП «Квинт» (г. Таганрог), поставившего оборудование фирмы Advantech, за техническую поддержку при выполнении проекта. ●

**Авторы — сотрудники Таганрогского государственного радиотехнического университета и НКБ «Миус» ТРТУ
Телефоны: (8634) 31-0629, 66-9211**