

УДК 621.396

## СОВРЕМЕННЫЕ БОРТОВЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ И АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Е.Е. НЕЧАЕВ, К.С. ДЕРЯБИН**

(по материалам открытой печати)

В данной статье дается краткое описание облика современных и перспективных многофункциональных авиационных комплексов и функции бортовых радиолокационных станций в составе их бортового радиоэлектронного оборудования. Приведены характеристики бортовых радиолокационных станций и описание антенных решеток, стоящих на вооружении в России и за рубежом. Приводятся возможные пути развития бортовых радиолокационных станций в ближайшем будущем.

**Ключевые слова:** бортовые радиолокационные станции, характеристики бортовых радиолокационных станций, многофункциональные авиационные комплексы.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России и зарубежных странах сформулированы основные критерии, определяющие облик современных и перспективных авиационных комплексов (АК) военного назначения. К ним относятся: многофункциональность, повышенная скрытность, интегрированность бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО), информационная осведомленность о текущей обстановке, высокая надежность и технологичность.

Приведенные критерии, прежде всего, повлияли на тенденции развития бортовых радиолокационных станций (БРЛС). Данная статья направлена на обобщение информации о БРЛС современных и перспективных АК и оценку возможных направлений их развития.

### БРЛС В СОСТАВЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Многофункциональность АК в простом понимании подразумевает наличие оборудования, которое позволяет одному самолету (экипажу) выполнять функции истребителя воздушных целей, ударного самолета, способного с высокой эффективностью уничтожать разнообразные наземные объекты в условиях сильного противодействия средств ПВО, в также выполнять роль самолета-разведчика [1]. В еще более общем понимании многофункциональными можно считать АК, оборудование которых позволяет выполнять в одном полете ряд разнохарактерных задач. Одну из ключевых ролей, определяющих способность МФ АК выполнять поставленные перед ним задачи, играют бортовые радиолокационные станции, которые, по мнению отечественных и зарубежных экспертов, в ближайшем будущем останутся основным средством обнаружения и сопровождения целей, обеспечения ситуационной осведомленности и применения оружия [5]. БРЛС МФ АК должна обеспечивать в режиме «воздух-воздух»:

- обнаружение большого количества воздушных целей (в том числе групповых) и их однозначное распознавание на большом расстоянии;
- измерение дальности до обнаруженных целей, направления и скорости их движения;
- автоматическое сопровождение одновременно большого количества воздушных целей;
- применение управляемых средств поражения (УСП) одновременно по нескольким целям;
- обнаружение метеорологических образований на пути следования;
- предупреждение столкновения в воздухе.

В режиме «воздух-поверхность» БРЛС должна обеспечивать:

- обнаружение, распознавание и автоматическое сопровождение наземных (морских) целей с различной ЭПР, в том числе малоразмерных слабоконтрастных целей;

- моноимпульсное сопровождение одиночных целей;
- обнаружение подвижных наземных (морских) целей в режиме селекции движущихся целей (СДЦ);
- распознавание типов наземных (морских) целей;
- измерение дальности до наземных (морских) целей;
- подсвет целей высокочастотными сигналами;
- передача данных для УСП с полуактивным и командным наведением;
- картографирование подстилающей поверхности в режиме реального луча;
- картографирование подстилающей поверхности в высоком и сверхвысоком разрешении в режиме синтезирования апертуры (РСА);
- измерение навигационных параметров самолета-носителя (СН) по выбранным ориентирам на поверхности Земли в целях навигации и точной выставки инерциальных систем УСП;
- следование рельефу местности при маловысотном полете во время преодоления рубежей ПВО противника;
- предупреждение столкновения с землей;
- пассивное пеленгование излучений РЛС противника и создание помех с целью их подавления;
- силовое подавление радиотехнических средств противника направленным СВЧ-излучением.

Указанные требования, помимо истребителей-бомбардировщиков, можно отнести и к АК дальнего радиолокационного обнаружения (ДРЛО) и перспективным АК дальней авиации ввиду возрастающего круга выполняемых ими в одном полете задач.

С начала 90-х годов в США, Европе и Японии ведутся работы по созданию и совершенствованию БРЛС с активными фазированными антенными решетками (АФАР) [5], [9], [11], [13]. Введение в состав БРЛС АФАР дало множество преимуществ по сравнению с другими типами антенн:

- возможность получения высокой мощности излучения за счет суммирования излучений приемо-передающих модулей;
- возможность быстро, с высокой точностью менять форму и положение диаграммы направленности (ДН) антенны;
- создание ДН с необходимым количеством лучей;
- возможность одновременного излучения сигналов многолучевой ДН на разных несущих частотах и с разной частотой повторения импульсов.

Еще одним важным направлением развития БРЛС является освоение миллиметрового диапазона волн. Несмотря на свой основной недостаток - значительного затухания в атмосфере и осадках, использование миллиметрового диапазона волн имеет ряд преимуществ по сравнению с сантиметровым [6]:

- высокая разрешающая способность по угловым координатам;
- более высокая точность пеленгования наземных объектов;
- больший радиолокационный контраст наземных целей для некоторых видов фонов подстилающей поверхности;
- хорошая помехозащищенность.

В перспективе миллиметровый диапазон волн будет использоваться прежде всего при решении задач: картографирования подстилающей поверхности в сверхвысоком разрешении; обнаружения и распознавания малозаметных, медленно передвигающихся объектов; огибания рельефа местности при маловысотном полете.

Отдельно стоит отметить возлагаемые на БРЛС функции связи. Концепция «сетцентрической войны» [4] подразумевает высокоскоростной обмен данными в реальном масштабе времени между МФ АК, пунктами управления и другими АК различного назначения. МФ АК в этой концепции будет выступать одновременно и как средство разведки и как средство пораже-

ния целей. БРЛС должна будет обеспечить обмен большими объемами данных, включая: картографическую информацию, фото- и видеоизображение, информацию об обнаруженных целях противника, информацию о метеорологической обстановке.

Главной чертой будущих военных конфликтов является бесконтактность, перенос основных боевых действий в воздушно-космическое пространство. Военно-воздушные силы становятся одним из важнейших средств доставки высокоточного оружия к цели из зон вне поражения ПВО противника [3]. Важным фактором, определяющим успешность выполнения МФ АК боевых задач, является скрытность. Основными способами снижения заметности МФ АК с точки зрения совершенствования характеристик БРЛС являются:

- применение АФАР, позволяющих снизить эффективную площадь рассеяния (ЭПР) СН, за счет уменьшения переотражения радиолокационных сигналов от антенного полотна и элементов конструкции (волноводов, механизмов поворота);
- использование пассивного пеленгования РЛС противника;
- применение БРЛС МФ АК в составе многопозиционной радиолокационной системы (бистатические режимы работы);
- использование широкого диапазона частот излучаемых сигналов со случайной перестройкой несущей частоты, снижающего радиолокационную заметность СН.

Одним из распространенных способов снижения ЭПР летательных аппаратов и наземной (морской) техники, построенной по технологии «стелс», является использование радиопоглощающих покрытий (РПП). Эксплуатация военной техники в условиях сильных механических и температурных нагрузок неизбежно приводит к возникновению повреждений РПП. Приведенная в [7] математическая модель показывает, что при возникновении неоднородностей на поверхности РПП возможно значительное увеличение ЭПР цели: при облучении РПП на плоских участках цели под углами, отличными от нуля – до 10 дБ; при изменении действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости РПП на плоских участках цели при облучении под углами, отличными от нуля – до 15 дБ; при облучении РПП на кривых поверхностях цели, при условии попадания неоднородности в первую зону Френеля для данного угла – до 20 дБ.

Унификация БРЭО многофункциональных авиационных комплексов на сегодняшний день остается одной из приоритетных задач. БРЛС перспективных МФ АК должны строиться по модульному принципу: иметь унифицированные программные и аппаратные модули [3], [9], [14]. В общем случае БРЛС МФ АК должна иметь в своем составе следующие элементы (рис.1): антенную систему (ФАР или АФАР с унифицированными приемо-передающими модулями (ППМ)), задающий генератор, многоканальный приемник СВЧ-сигналов с аналого-цифровым преобразователем, многопроцессорную цифровую вычислительную систему. Примером работ в данном направлении в России является программа Корпорации «Фазотрон-НИИР» по созданию унифицированной БРЛС для вертолетов и самолетов-истребителей [14].

Информационная осведомленность МФ АК подразумевает наличие у летчика оперативной достоверной информации о текущей боевой обстановке. БРЭО современных и перспективных МФ АК должна строиться по иерархическому (интегративному) принципу [3], [9]. В иерархической структуре БРЭО БРЛС стоит на нижнем уровне, одновременно являясь сложной системой, осуществляющей прием и цифровую обработку аналоговой информации о текущих координатах СН и целей, дальностей до целей, источниках помеховых излучений для дальнейшей ее выдачи в информационно-управляющую систему.

Переход к интегрированной структуре с применением АФАР значительно повышает показатели надежности БРЛС, упрощает процесс их эксплуатации и регламентного обслуживания за счет уменьшения количества блоков, соединительных жгутов, фидерных связей, исключения из состава волноводных трактов и механических узлов и агрегатов поворота антенны.

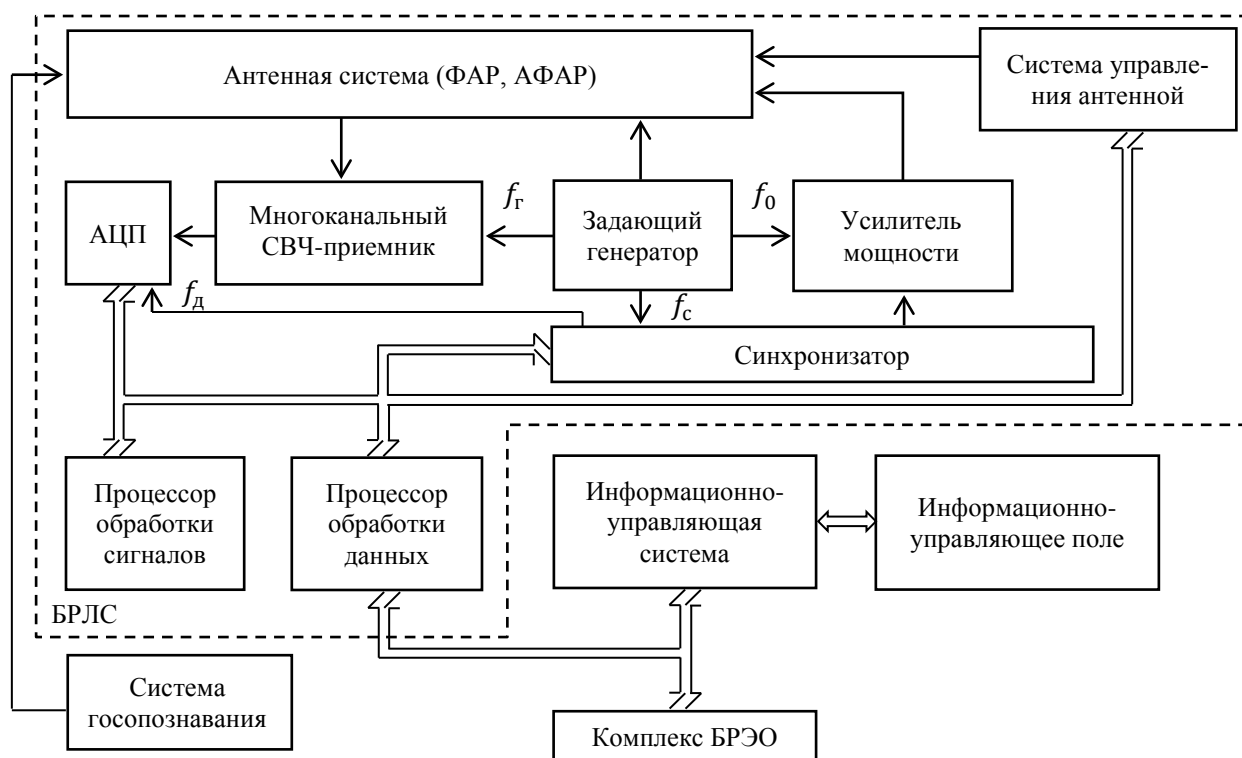


Рис. 1. Структурная схема БРЛС МФ АК

## БРЛС ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

### БРЛС производства США

**AN/APG-77.** Разработка бортовой радиолокационной станции началась в 1985 г. в рамках программы ATF (Advanced Tactical Fighter) фирмами «Texas Instruments» (в 1997 г. вошла в состав фирмы «Raytheon») и «Westinghouse Electric Company» (в 1996 г. вошла в состав фирмы «Northrop Grumman») [5], [9], [11]. Впоследствии фирмы объединили свои усилия для работы над программой URR (Ultra Reliable Radar). В 1997 г. был создан опытный образец БРЛС и начались летные испытания. В том же году БРЛС получила обозначение AN/APG-77 и предназначалась для установки на истребитель пятого поколения F-22 «Raptor».

Разработка AN/APG-77 стала первой в США программой по созданию БРЛС, использующей активную фазированную антенную решетку (рис. 2). В эксплуатации с января 2006 г. В марте 2007 г. завершилась сертификация новой версии БРЛС 4-го поколения, получившей наименование AN/APG-77(V)1 [18]. В новой БРЛС реализован режим синтеза апертуры с расширенными возможностями, позволяющий получать радиолокационное изображение подстилающей поверхности в высоком разрешении с непосредственной идентификацией целей и их автосопровождением. БРЛС способна сопровождать большое количество (до 28) воздушных целей, в том числе и в группе, с их идентификацией и их распределением по степени опасности.

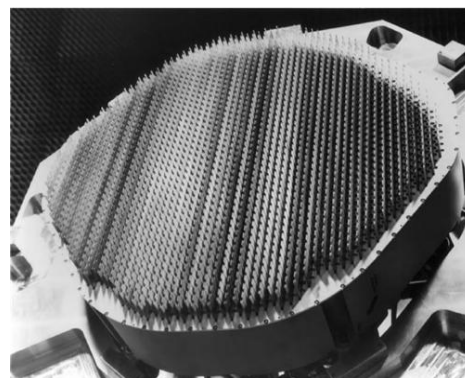


Рис. 2. АФАР БРЛС AN/APG-77 30МК

Основные тактико-технические характеристики [2], [11] БРЛС AN/APG-77(V)1:

Диапазон частот: 8-12 ГГц (X-диапазон).

Дальность обнаружения воздушных целей с ЭПР  $\sigma = 3\text{м}^2$ :

- 300 км в передней полусфере;
- 80 км в задней полусфере.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 3000 \text{ м}^2$ : 270-300 км.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 50 \text{ м}^2$ : 60 км.

Дальность обнаружения цели класса «крылатая ракета»: 150 км.

Зона обзора по азимуту:  $\pm 60^\circ$ .

Зона обзора по углу места:  $\pm 60^\circ$ .

Количество сопровождаемых целей: 28.

Количество одновременно атакуемых целей: 8.

Средняя мощность излучаемого сигнала: 4 кВт.

Тип антенны: АФАР.

Количество приемо-передающих модулей: 2000.

**AN/APG-68(V)9, AN/APG-80.** Бортовая радиолокационная станция AN/APG-68(V)9 разработки фирмы «Northrop Grumman» является последней модификацией данной БРЛС, устанавливаемой на все серийные истребители F-16 «Fighting Falcon».

Многофункциональная БРЛС 4-го поколения AN/APG-80 – экспортный вариант, предназначенный для установки на многоцелевой истребитель F-16 C/D Block 60. В эксплуатации с 2005 г.

**AN/APG-81.** Бортовая радиолокационная станция AN/APG-81 (рис. 3) предназначена для оборудования тактического истребителя F-35 в рамках программы JSF (Joint Strike Force) [8]. При разработке бортовой радиолокационной станции AN/APG-81 использовались наработки, полученные при создании AN/APG-77 – используются аналогичные режимы работы «воздух-воздух». В отличие от AN/APG-77 было вдвое увеличено количество режимов «воздух-поверхность», в том числе: картографирование реальным лучом, синтезирования апертуры, селекции движущихся целей, сопровождения одиночной цели (непрерывной пеленгации), сверхвысокого разрешения, пассивного пеленгания РЛС противника, идентификации и автоматического сопровождения наземных целей, радиоэлектронного подавления наземных средств ПВО.

В качестве антенны используется АФАР с электрическим сканированием, разработанная для истребителя F/A-18. Высокая скорость сканирования луча диаграммы направленности антенны (более миллиона раз в секунду) позволяет эффективно обнаруживать и сопровождать одновременно большое количество целей, что было подтверждено во время летных испытания на базе летающей лаборатории ВАС 1-11, начавшихся в 2005 г.

Основные тактико-технические характеристики БРЛС AN/APG-81:

Диапазон частот: 6-18 ГГц.

Дальность обнаружения воздушных целей с ЭПР  $\sigma = 3 \text{ м}^2$ :

- 300 км в передней полусфере;
- 80 км в задней полусфере.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 3000 \text{ м}^2$ : 250 км.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 50 \text{ м}^2$ : 60 км.

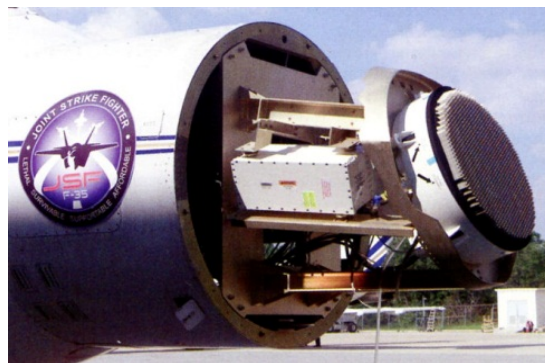
Зона обзора по азимуту:  $\pm 60^\circ$ .

Зона обзора по углу места:  $\pm 60^\circ$ .

Количество сопровождаемых целей: 28.

Количество одновременно атакуемых целей: 8.

Средняя мощность излучаемого сигнала: 4 кВт.



**Рис. 3.** БРЛС AN/APG-81 в носовой части летающей лаборатории ВАС 1-11 со снятым носовым обтекателем 30МК

Тип антенны: АФАР.

Количество приемо-передающих модулей: 1000-1200.

**AN/APG-83.** Бортовая радиолокационная станция AN/APG-83 с АФАР с электронным сканированием разрабатывается фирмой «Northrop Grumman» в рамках заключительной модернизации истребителя F-16, получила обозначение «SABR» (Scalable Agile Beam Radar). AN/APG-83 будет иметь аналогичные режимы работы, что и БРЛС AN/APG-81 истребителя F-35 [21].

**AN/APQ-164.** Многофункциональная БРЛС L-диапазона AN/APQ-164 разработана на основе БРЛС AN/APG-68 фирмой «Northrop Grumman» для дальнего бомбардировщика B-1B [10]. В качестве антенны использована фазированная антенная решетка (ФАР) с электронным сканированием (рис. 4), которая позволяет осуществлять обзор пространства в пределах  $\pm 60^\circ$  по азимуту и углу места. Угол обзора по углу места может быть увеличен до  $\pm 115^\circ$  механическим вращением антенного полотна. ФАР состоит из 1526 модулей.

БРЛС может работать в следующих режимах: картографирования местности в режиме РСА, картографирование реальным лучом, огибания рельефа, предупреждения столкновения с землей, обнаружения метеообразований, измерения скорости (для выставки инерциальных систем управляемых ракет), селекции движущихся целей, сопровождения одной цели.

**AN/APY-1, AN/APY-2.** Бортовые радиолокационные станции AN/APY-1, AN/APY-2 разработки фирмы «Northrop Grumman» применяются в составе авиационной системы предупреждения и управления E-3 «AWACS» [24], [27]. AN/APY-1 используется для обнаружения наземных целей, AN/APY-2 используется для работы как по наземным, так и по воздушным целям. «AWACS» использует антенную решетку с электронным сканированием по углу места и механическим сканированием по азимуту, за счет вращения обтекателя (время сканирования – 10 с). БРЛС «AWACS» была модернизирована в рамках программы «RSIP» (Radar System Improvement Program), что позволило расширить ее возможности по обнаружению малых целей, крылатых ракет, радиоэлектронному противодействию. Разрешающая способность по дальности была уменьшена с 6 до 1 м, разрешающая способность по азимуту и углу места – с 2 до 1 м. БРЛС способна обнаруживать цели на расстоянии свыше 400 км.

Модернизированная БРЛС обеспечивает работу в следующих режимах: в режиме импульсно-доплеровского безвысотного сканирования (PDNES) – позволяет обнаруживать с высокой точностью низколетящие воздушные цели на фоне земной поверхности; загоризонтном режиме (BTH) – используется для обнаружения воздушных целей, находящихся вне зоны радиогоризонта на фоне мешающих отражений от земной поверхности; смешанном режиме – позволяет одновременно работать в режимах PDNES и BTH как в пассивном, так и в активном режимах, при этом режим PDNES может одновременно использоваться для обнаружения воздушных целей над морской поверхностью; в режиме импульсно-доплеровского высотного сканирования (PDES) – аналогичен режиму PDNES, но также позволяет обнаруживать воздушные цели, находящиеся в верхней полусфере путем вертикального электронного сканирования лучом; «морском» режиме – позволяет обнаруживать малые и большие морские суда при различном состоянии моря, используя очень короткие импульсы и адаптивную фильтрацию помеховых переотражений; пассивном режиме – для обнаружения источников радиолокационного и помехового излучений.



**Рис. 4.** Фазированная антенная решетка БРЛС AN/APQ-164 в носовой части дальнего бомбардировщика B-1B 30МК



Вычислительная система БРЛС включает процессор адаптивной обработки сигналов, процессор обработки данных и адаптер интерфейса. Процессор адаптивной обработки сигналов имеет 24-битную разрядность, работает на частоте 5 МГц и способен выполнять более 23 млрд. операций в секунду. Процессор обработки данных использует сдвоенную 32-разрядную шину стандарта VMEbus.

**AN/APY-9.** Бортовая радиолокационная станция AN/APY-9, разработанная в рамках модернизации палубного АК дальнего радиолокационного обнаружения (ДРЛО) E-2C «Hawkeye 2000», получившего название E-2D «Advanced Hawkeye», представляет собой гибридную обзорную РЛС, включающую вращающуюся антенну для обзора воздушного пространства и пассивную решетку системы радиотехнической разведки [24]. БРЛС работает в диапазоне частот 0,3-3 ГГц. В БРЛС применяется цифровое диаграммообразование и пространственно-временная адаптивная обработка, что позволяет повысить точность при моноимпульсном методе локации и одновременно обнаруживать воздушные и морские цели. БРЛС построена по модульному принципу с открытой архитектурой и включает в своем составе: последовательно соединенные твердотельные усилители мощности передатчика, малошумящий цифровой приемник, скоростной процессор обработки данных, антенную систему «RAG».

Антенная система «RAG» состоит из 18-канальной решетки ADS-18 и 36-элементной решетки системы «свой-чужой». ФАР ADS-18 обеспечивает электронное сканирование по углу места с сектором обзора 120°; электронное и механическое сканирование по азимуту.

**AN/APY-10.** Бортовая радиолокационная станция AN/APY-10 (рис. 5) с синтезированием апертуры антенны разработки фирмы «Raytheon» предназначена для поиска и обнаружения морских и наземных целей. БРЛС применяется в составе морской самолетной разведывательной системы ВМФ США Р-8А «Посейдон» [24], [26]. БРЛС обеспечивает: в режиме синтезирования апертуры – поиск, обнаружение и наведения на наземные цели, картографирование подстилающей поверхности в высоком разрешении; в режиме инверсного синтезирования апертуры (ИРСА) – формирование двумерного изображения стоячих кораблей, малых быстроходных кораблей в прибрежной зоне и их классификации, наведение на морские цели, картографирование; в режиме обнаружения подводных лодок – поиск, обнаружение и сопровождение перископов и шноркелей подводных лодок; в режиме обхода метеобразований (color weather avoidance mode) - обнаружение опасных метеобразований на пути следования и их отображение на индикаторе с цветовой градацией в зависимости от степени угрозы; выполнение навигационных задач.



Рис. 5. БРЛС AN/APY-10

Основные тактико-технические характеристики БРЛС AN/APY-10:

Рабочий диапазон частот: 8-12 ГГц.

Дальность действия: 200-400 км.

Разрешение: РСА – 2-200 м, ИРСА – 0,6-1,2 м.

Длительность импульса: РСА – 13,2 мкс, ИРСА – 10 мкс, при обнаружении подводных лодок – 5 мкс.

Средняя мощность: РСА – 350 Вт, ИРСА – 230-500 Вт, обнаружение ПЛ – 460 Вт.

Тип антенны: АФАР.

*БРЛС Европейского производства*

**RBE-2AA.** Бортовая радиолокационная станция RBE-2AA разработки французской фирмы «Thales» предназначена для установки на многоцелевой истребитель поколения

4+ «Rafale». БРЛС RBE-2AA создавалась на базе БРЛС RBE-2 путем замены фазированной антенной решетки из ее состава на АФАР БРЛС CAR (Core Antenna Radar), разработанной в рамках общеевропейской программы AMSAR (Airborne Multirole multifunction Solid-state Activearray Radar) [9], [15]. Серийное производство АФАР для истребителей «Rafale» началось в 2006 г.

Основные тактико-технические характеристики БРЛС RBE-2AA:

Диапазон частот: 8-12 ГГц (X-диапазон).

Дальность обнаружения воздушных целей с ЭПР  $\sigma = 5\text{ м}^2$ : 160 км в передней полусфере.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 3000\text{ м}^2$ : 200 км.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 1000\text{ м}^2$ : 140 км.

Зона обзора по азимуту:  $\pm 70^\circ$ .

Зона обзора по углу места:  $\pm 70^\circ$ .

Количество одновременно сопровождаемых целей: 40.

Количество одновременно атакуемых целей: 4-6.

Тип антенны: АФАР.

Количество приемо-передающих модулей: 1000.

**Captor-E.** Бортовая радиолокационная станция Captor-E разрабатывается компанией «Selex Galileo» совместно с консорциумом EADS и компанией «Indra» и предназначена для установки на истребитель Turbopon. БРЛС разрабатывается на базе БРЛС Captor-M.

Основные тактико-технические характеристики БРЛС Captor-E:

Диапазон частот: 8-20 ГГц.

Дальность обнаружения воздушных целей с ЭПР  $\sigma = 5\text{ м}^2$ : 130 км в передней полусфере.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 3000\text{ м}^2$ : 200 км.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 1000\text{ м}^2$ : 135 км.

Зона обзора по азимуту:  $\pm 60^\circ$ .

Зона обзора по углу места:  $\pm 60^\circ$ .

Количество одновременно сопровождаемых целей: 30.

Количество одновременно атакуемых целей: 4-6.

Тип антенны: АФАР.

БРЛС RBE-2AA и Captor-E поддерживают все основные режимы работы «воздух-поверхность», в том числе: картографирование реальным лучом, режим селекции движущихся целей, режим СА, измерение дальности до цели, режим огибания рельефа.

**ASTAC.** Бортовая радиолокационная станция третьего поколения ASTAC предназначена для установки на французский АК радиотехнической разведки и радиоэлектронной борьбы DC-8-72 «Sarigue NG» производства фирмы «Thales» [28]. Она обеспечивает разведку наземных, корабельных и самолетных радиолокационных станций, работающих в импульсном и непрерывном режимах излучения в диапазоне частот 500 - 40 000 МГц. Станция осуществляет в автоматизированном режиме высокоскоростную обработку сигналов (до 20 целей/в секунду) в условиях сложной помеховой обстановки, распознавание типов и определение координат до 10 РЛС в минуту, одновременно отслеживая при этом более 200 целей. Ее антенно-фидерные устройства имеют следующие сектора обзора: по углу места  $\pm 20^\circ$ , по азимуту –  $360^\circ$  (120 и  $240^\circ$ , антенны бокового и переднего обзора соответственно). Станция обеспечивает эффективный одновременный контроль источников радиоизлучения в зоне площадью более  $160\text{ км}^2$  с определением их местонахождения на дальностях до 110 км с точностью до 1 процента от дальности между самолетом и объектом разведки (при полете со скоростями до  $M = 0,9$  и на высотах до 12 км).

**PS-890 «Erieye».** Бортовая радиолокационная станция PS-890 предназначена для установки на АК ДРЛО FSR-890 (Швеция) на базе самолетов Сааб 340 «AEW», Сааб S100B «Argus», Сааб 2000, Эмбраер-99/145 [25]. БРЛС предназначена для разведки и управления боем и



обеспечивает обнаружение целей типа «истребитель» на дальности 300 - 350 км. Инструментальная дальность действия PS-890 на высоте 6 км – 450 км (при работе по морским целям – 320 км) в секторе обзора  $150^\circ$  с двух сторон самолета. Рабочая частота БРЛС порядка 3 ГГц. В качестве антенны используется двухсторонняя АФАР производства фирмы Ericson, состоящая из 192 ППМ и имеющая длину 9 м.

### *БРЛС производства Японии*

**Ж/АРГ-1.** Разработка БРЛС для истребителя F-2 началась в начале 90-х годов корпорацией «Mitsubishi» под руководством Института технических исследований и разработок (TRDI) Министерства обороны Японии [10]. В качестве антенны используется АФАР, состоящая из 750 приемо-передающих модулей.

БРЛС поддерживает все основные режимы «воздух-воздух» и «воздух-поверхность», включая режим автосопровождения целей и картографирования подстилающей поверхности реальным лучом.

## БРЛС ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Н010 «Жук-А».** БРЛС «Жук-А» разработки корпорации «Фазотрон-НИИР», предназначена для установки на многоцелевой истребитель поколения 4++ МиГ-35. БРЛС использует АФАР с электронным сканированием (рис. 6).



**Рис. 6.** АФАР БРЛС «Жук-А»  
на истребителе МиГ-35 со снятым носовым обтекателем

Основные тактико-технические характеристики БРЛС «Жук-А» [2]:

Диапазон частот: 8-12 ГГц.

Дальность обнаружения воздушных целей с ЭПР  $\sigma = 3\text{ м}^2$ :

– 148 км в передней полусфере;

– 60 км в задней полусфере.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 3000\text{ м}^2$ : 300 км.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 50\text{ м}^2$ : 60 км.

Зона обзора по азимуту:  $\pm 60^\circ$ .

Зона обзора по углу места:  $\pm 60^\circ$ .

Количество одновременно сопровождаемых целей: 30.

Количество одновременно атакуемых целей воздушных целей: 8.

Тип антенны: АФАР.

**Н035 «Ирбис-Э».** Радиолокационная система управления (РЛСУ) «Ирбис-Э» поколения 4++ разработки ОАО «НИИ приборостроения им. В. В. Тихомирова» предназначена для установки на многоцелевой истребитель Су-35С [17]. В качестве антенны используется ФАР с электронным управлением лучом (рис. 7). Широкий угол обзора по азимуту ( $\pm 120^\circ$ ) достигается путем поворота антенного полотна механическим приводом. РЛСУ «Ирбис-Э» обеспечивает обнаружение, сопровождение и одновременную атаку нескольких воздушных и наземных (морских) целей, определение государственной принадлежности, картографирование подстилающей поверхности в сверхвысоком разрешении, определение количества воздушных целей в группе и определение их типа, работу в режиме огнивания рельефа, обнаружение метеообразований на пути следования.



Рис. 7. ФАР РЛСУ «Ирбис-Э» на летающей лаборатории Су-30МК

Основные тактико-технические характеристики РЛСУ «Ирбис-Э» [2]:

Диапазон частот: 8-12 ГГц.

Дальность обнаружения воздушных целей с ЭПР  $\sigma = 3\text{ м}^2$ :

– 400 км в передней полусфере;

– 80 км в задней полусфере.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 3000\text{ м}^2$ : 500 км.

Дальность обнаружения наземных целей с ЭПР  $\sigma = 50\text{ м}^2$ : 150 км.

Зона обзора по азимуту:  $\pm 120^\circ$ .

Зона обзора по углу места:  $\pm 60^\circ$ .

Количество одновременно сопровождаемых целей: 30.

Количество одновременно атакуемых целей воздушных целей: 8.

Средняя мощность излучаемого сигнала: 5 кВт.

Тип антенны: ФАР.

**Н036.** Многофункциональная БРЛС Н036 X-диапазона разрабатывается ОАО «НИИ приборостроения им. В.В. Тихомирова» специально для многоцелевого истребителя 5-го поколения Т-50. В июне 2012 г. начались летные испытания новой БРЛС на опытных образцах АК Т-50 [16]. В качестве антенны будет использована новая АФАР собственной разработки (рис. 8). АФАР состоит из 1526 приемо-передающих модулей; средняя излучаемая мощность – 5 Вт. Также в состав БРЛС будут входить две АФАР бокового обзора, работающие в X-диапазоне (рис. 9) и 2 АФАР L-диапазона, расположенные в кромках крыльев [20], [25].

На основе БРЛС Н036 будет разрабатываться БРЛС для совместного российско-индийского Перспективного многоцелевого истребителя пятого поколения.

Основные тактико-технические характеристики БРЛС Н036:

Диапазон рабочих частот: 8-12 ГГц.

Дальность обнаружения целей:

– с ЭПР  $\sigma = 3\text{ м}^2$  – 400 км;

– с ЭПР  $\sigma = 1\text{ м}^2$  – 300 км;

– с ЭПР  $\sigma = 0,5\text{ м}^2$  – 240 км;

– с ЭПР  $\sigma = 0,1\text{ м}^2$  – 165 км.

Угол обзора:  $\pm 120^\circ$ .

Количество одновременно сопровождаемых целей:

– воздушных – 30;

– наземных – 4.

Количество одновременно атакуемых целей: 8.

Тип антенны: 3 АФАР X-диапазона и 2 АФАР L-диапазона.

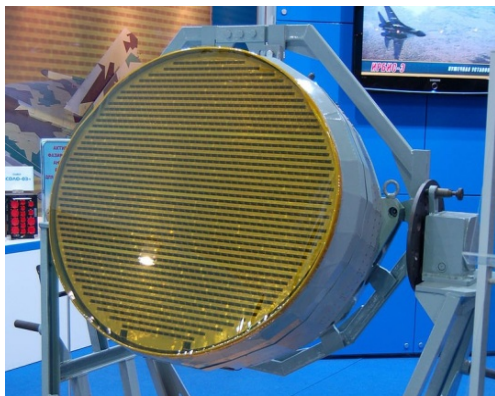


Рис. 8. АФАР БРЛС Н036 на авиасалоне МАКС 2009

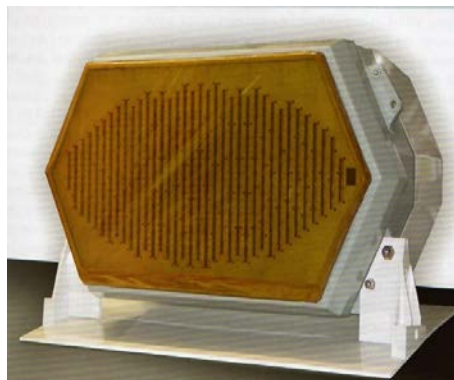


Рис. 9. АФАР бокового обзора БРЛС Н036

**«Оса».** Радиолокационный прицельный комплекс (РЛПК) «Оса» с ФАР «Скат-μ» (рис. 10), разработки ОАО «НИИ приборостроения им. В. В. Тихомирова», предназначен для установки на легкие истребители типа МиГ-21, МиГ-АТ, Як-130, МиГ-29УБТ и др.

БРЛС РЛПК в режиме «воздух-воздух» обеспечивает: обнаружение с определением дальности и скорости; дискретное сопровождение с изменяемой частотой обращения к цели; сопровождение при сканировании; полуавтоматическое управление при многолучевой атаке.

БРЛС РЛПК в режиме «воздух-поверхность» обеспечивает: обнаружение морских целей при волнении свыше четырех баллов, картографирование местности реальным лучом, режим микроплана, режим доплеровского обнаружения луча, сопровождение на проходе до двух целей, измерение дальности до наземной цели, селекцию движущихся целей и измерение их скорости.

Антенная система «Скат-μ» представляет собой ФАР проходного типа с волноводным питанием [22]. Управление лучом ДН – электронное. ФАР является двухдиапазонной и обеспечивает работу БРЛС в диапазоне частот РЛС и в диапазоне госопознавания. ФАР L-диапазона состоит из шести излучателей вибраторного типа, образующих две горизонтальные линейки. В состав системы управления ФАР входят: блок управления лучом; устройства управления линейных подрешеток; усилители токов для управления и стирания фазовращателей.

Основные тактико-технические характеристики РЛПК «Оса» [23]:

Диапазон частот: X и L – диапазон.

Дальность обнаружения воздушных целей с ЭПР  $\sigma = 3\text{м}^2$ :

- 85 км в передней полусфере;
- 40 км в задней полусфере.

Дальность захвата цели в режиме дискретного сопровождения: 35-65 км.

Зона обзора по азимуту:  $\pm 60^\circ$ .

Зона обзора по углу места:  $\pm 60^\circ$ .

Количество одновременно сопровождаемых целей:

- 8 в режиме дискретного сопровождения;
- 16 в режиме сопровождения при сканировании.



Рис. 10. РЛПК «Оса» с ФАР «Скат-μ»

Количество одновременно атакуемых целей воздушных целей: 4.  
Время перемещения луча – 0,3 мс.  
Средняя мощность излучаемого сигнала: 700 Вт.

Характеристики ФАР «Скат-μ»:

Тип ФАР: проходного типа с волноводным питанием.  
Диаметр антенны: 460 мм.  
Количество излучателей Х-диапазона: 334.  
Коэффициент усиления: 28,5 дБ.  
Ширина ДН: 5 град.  
Число лучей специальной формы: 16 с расширением до 32.  
Количество излучателей L-диапазона: 6.  
Коэффициент усиления в L-диапазоне: 8 ед.  
Ширина ДН:  
– 40 дБ в плоскости азимута;  
– 40 дБ в плоскости угла места.

**ФАР «Перо».** Фазированная антенная решетка «Перо» с электронным управлением лучом, разработанного ОАО «НИИ приборостроения им. В.В. Тихомирова», предназначена для установки на тяжелые истребители типа Су-27 и МиГ-29. Как и ФАР «Скат-μ» является двухдиапазонной.

Характеристики ФАР «Перо»:

Тип ФАР: отражательного типа с эфирным питанием.  
Диаметр антенны: 1030 мм.  
Количество излучателей Х-диапазона: 2354.  
Коэффициент усиления: 34 дБ.  
Ширина ДН: 2,1 град.  
Число лучей специальной формы: 8 с расширением до 32.  
Количество излучателей L-диапазона: 24.  
Коэффициент усиления в L-диапазоне: 32 ед.  
Ширина ДН:  
– 14 дБ в плоскости азимута;  
– 30 дБ в плоскости угла места.

**«Шмель-2».** БРЛС кругового обзора «Шмель-2» применяется в составе модернизированного АК ДРЛО А-50М [26]. БРЛС обеспечивает: обнаружение и сопровождение воздушных (в том числе и малоразмерных) целей в свободном пространстве и условиях маловысотного полета на фоне подстилающей водной и земной поверхности; обнаружение и сопровождение надводных кораблей; наведение истребителей на воздушные цели; выведение фронтовой и морской авиации на наземные и надводные цели; пассивное обнаружение и идентификацию источников РЛ излучения.

Основные тактико-технические характеристики БРЛС «Шмель-2»:

Диапазон рабочих частот: сантиметровый.

Дальность обнаружения:

- истребителей на малой высоте на фоне земли – 200-400 км;
- истребителей на большой высоте – 300-600 км;
- бомбардировщиков – до 650 км;
- баллистических ракет – до 800 км;
- крылатых ракет с ЭПР  $\sigma = 1 \text{ м}^2$  – до 215 км;
- наземных целей – 250-300 км;
- крупных надводных целей – до 400 км.

Количество одновременно сопровождаемых целей – до 150.  
Количество одновременно наводимых истребителей – 10-12.  
Групповое наведение – до 30 единиц.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Начавшиеся в США в конце 80-х – начале 90-х работы по созданию АФАР показали высокую эффективность новых антенных систем и стало одним из основных направлений исследований ведущих американских и европейских компаний – разработчиков бортовых радиолокационных систем. Значительное снижение к началу 2000-х толщины и стоимости приемопередающих модулей, позволило в течение последних десяти лет перевести большинство БРЛС многоцелевых истребителей и бомбардировщиков, стоящих на вооружении США, на использование антенных систем данного типа.

На данный момент в России и за рубежом продолжаются работы по совершенствованию приемопередающих модулей для АФАР. В перспективе планируется создание унифицированных ППМ и конформных АФАР на их основе. Это позволит повысить мощность и дальность действия БРЛС, тангенциальную разрешающую способность и обеспечить круговой обзор пространства. В то же время увеличение количества ППМ потребует больших вычислительных мощностей, необходимых для формирования и управления диаграммой направленности антенной решетки.

Кроме совершенствования антенных систем и цифровых вычислительных систем решается ряд других актуальных задач:

- создание эффективных алгоритмов управления БРЛС при одновременной работе в нескольких режимах;
- создание более эффективных алгоритмов цифровой обработки, направленных на увеличение объема извлекаемой из отраженных сигналов информации. Ведущиеся в России работы в области совместной апостериорной обработки результатов измерений показывают перспективность развития радиолокационных систем в данном направлении [19];
- создание эффективных алгоритмов управления траекториями движения СН в составе многопозиционных радиолокационных систем;
- создание эффективных алгоритмов функционирования БРЛС в бистатических режимах работы.

В ближайшие 10-20 лет совершенствование технологий производства АФАР останется одним из приоритетных направлений повышения характеристик БРЛС. Одновременное развитие алгоритмов функционирования БРЛС и пространственно-временной обработки позволит в дальнейшем перейти к созданию сложных многопозиционных радиолокационных систем на базе МФ АК, преобладанию пассивных режимов работы БРЛС, широкому освоению миллиметрового диапазона волн, упрощению систем цифровой обработки и аппаратуры БРЛС в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов Т. 1. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов / под ред. А.И. Канащенкова, В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2006.
2. Антипов В.Н., Колтышев Е.Е., Кондратенков Г.С. и др. Многофункциональные радиолокационные комплексы истребителей / под ред. В.Н. Лепина – М.: Радиотехника 2014.
3. Гуськов Ю.Н., Жибуртович Н.Ю. Основные направления развития бортового радиоэлектронного оборудования летательных аппаратов различного назначения // Информационно-аналитический журнал Корпорации «Фазотрон-НИИР». 2011. № 3, 4.
4. Кондратьев А. Реализация концепции «Сетевая война» в ВВС США // За рубежом военное обозрение. 2009. № 5.

5. Антипов В.Н., Меркулов В.И., Самарин О.Ф., Чернов В.С. Основные направления развития авиационных бортовых РЛС // Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 10.
6. Акиншин Н.С., Быстров Р.П., Румянцев В.Л., Соколов А.В. Миллиметровая радиолокация: методы обнаружения негауссовских сигналов / под ред. Р.П. Быстрова. – М.: Радиотехника. 2012.
7. Военно-технические системы. Методические аспекты повышения эффективности функционирования. Монография / под ред. В.В. Михайлова. – М.: Радиотехника. 2012.
8. Антонов Г. Бортовое радиоэлектронное оборудование истребителя F-35 // Зарубежное военное обозрение. 2004. № 8.
9. Володин В.В., Ерохин И.Е., Чабанов В.А. Состояние и перспективы разработки РЛС для самолетов 5-го поколения: обзор по материалам иностранной печати / под общей редакцией Е.А. Федосова. – М.: НИЦ ГосНИИАС. 2002.
10. Jane's Avionics Data Resource // 1994 – 2003.
11. Денисов Б. Бортовые радиолокационные станции самолетов тактической авиации зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. 2003. № 11.
12. Лифанов Ю.С., Саблин В.Н., Салтан М.И. Направления развития зарубежных средств наблюдения за полем боя. – М.: «Радиотехника». 2004.
13. Александров Б. Бортовые РЛС с АФАР для тактических истребителей Японии с США // Зарубежное военное обозрение. 1996. № 3.
14. Гуськов Ю.Н. Унифицированные БРЛС – очередной этап развития // Информационно-аналитический журнал Корпорации «Фазотрон-НИИР». 2011. № 3, 4.
15. Лазуткин А.Б. БРЛС с АФАР европейских истребителей // Информационно-аналитический журнал Корпорации «Фазотрон-НИИР». 2011. № 3, 4.
16. АФАР подтверждает свою надежность: интервью с генеральным директором НИИП им. В.В. Тихомирова Юрием Белым // Национальный аэрокосмический журнал «Взлет». 2013. № 8-9.
17. Колодыко Г., Грибков М., Фролов И., Андреев Н. Радар для истребителя Су-35 // Военный парад. 2009. № 5.
18. Ильин В. Истребитель F-22 «Рэптор» // Авиация и космонавтика. 2014. № 12.
19. Ситнов А., Клягин А., Назаренко В. Новое направление совершенствования радиолокационной техники // Информационно-аналитический журнал Корпорации «Фазотрон-НИИР». 2012. № 1.
20. Фомин А. Пятое поколение у нас и у них // Национальный аэрокосмический журнал «Взлет». 2010. № 3.
21. NATIONAL HARBOR, Md. Northrop Grumman's Scalable Agile Beam Radar (SABR) to Help Extend Viability of U.S. Air Force F-16s Beyond 2025 // PRNewswire. Sept. 18, 2013. [электронный ресурс] URL: <http://www.prnewswire.com/news-releases/northrop-grummans-scalable-agile-beam-radar-sabr-to-help-extend-viability-of-us-air-force-f-16s-beyond-2025-224264671.html> (дата обращения 10.03.2015).
22. Баринов Н.Н., Блохин А.Е., Воронежцев А.В., Грибанов А.Н., Иванов П.М., Лоскутов Б.П., Митин В.А., Мосейчук Г.Ф., Незвинский А.Н., Позднякова Р.Д., Ястребов Б.П. Антенные системы «Перо» и «Скат». Результаты проектирования и испытаний // Антенны. 2005. № 2.
23. Авиационное оружие и авионика. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век / под ред. Н. Спасского. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии». Т. 10. 2005.
24. Кольцов Ю.В. Антенные решетки воздушного базирования систем дальнего радиолокационного обнаружения. Ч. 1. Разработки США // Антенны. 2014. № 4.
25. Кольцов Ю.В. Антенные решетки воздушного базирования систем дальнего радиолокационного обнаружения. Ч. 2. Отечественные, европейские и другие современные разработки // Антенны. 2014. № 6.



**26. Виноградов М.** Перспективные комплексы воздушной радиолокационной разведки ведущих зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. 2008. № 2.

**27. AWACS Surveillance Radar. The Eyes of the Eagle.** [электронный ресурс] URL: <http://www.northropgrumman.com/capabilities/awacsapy2/documents/awacs.pdf> (дата обращения 30.03.2015).

**28. Фиолентов А.** Новый французский авиационный комплекс радиоэлектронной разведки SARIG-NG // Зарубежное военное обозрение. 2002. № 4.

## ANALYSIS OF THE STATE OF THE DEVELOPMENT OF AIRBORNE RADARS OF DOMESTIC AND FOREIGN PRODUCTION

**Nechayev E.E., Deryabin K.S.**

This article gives a brief description of the of modern and advanced aircraft systems and multi-functional on-board radar stations as part of their avionics, the characteristics of airborne radars and description of antenna arrays operationally available in Russia and abroad. It's also shows possible ways of development of on-board radars in the near future.

**Key words:** airborne radar, airborne radar characteristics, multi-aircraft systems.

### REFERENCES

**1. Kanashchenkov A.I., Merkulov V.I.** Radiolokatsionnye sistemy mnogofunktsional'nykh samoletov T. 1. RLS – informatsionnaya osnova boevykh deistvii mnogofunktsional'nykh samoletov. Sistemy i algoritmy pervichnoi obrabotki radiolokatsionnykh signalov. Moscow, Radiotekhnika, 2006.

**2. Antipov V.N., Koltyshev E.E., Kondratenkov G.S., Lepin V.N., Frolov A.U., Yankovskij V.T.** Mnogofunktsional'nye radiolokatsionnye komplekсы istrebitelei. Moscow, Radiotekhnika, 2014.

**3. Gus'kov U.N., Zhiburtovich N.U.** Informatsionno-analiticheskii zhurnal Korporatsii «Fazotron-NIIR», 2011, no. 3-4, pp. 28-33.

**4. Kondrat'ev A.** Zarubezhnoe voennoe obozrenie, 2009, no. 5, pp. 44-49.

**5. Antipov V.N., Merkulov V.I., Samarin O.F., Chernov V.S.** Uspekhi sovremennoi radioelektroniki, 2009, no. 10, pp. 7-28.

**6. Akinshin N.S., Bystrov R.P., Rumyantsev V.L., Sokolov A.V.** Millimetrovaya radiolokatsiya: metody obnaruzheniya negaussovskikh signalov. Moscow, Radiotekhnika, 2012.

**7. Mikhailov V.V.** Voенно-tekhnicheskie sistemy. Metodicheskie aspekty povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya. Monografiya. Moscow, Radiotekhnika, 2012.

**8. Antonov G.** Zarubezhnoe voennoe obozrenie, 2004, no. 8, pp. 43-49.

**9. Volodin V.V., Erokhin I.E., Chabanov V.A.** Sostoyanie i perspektivy razrabotki RLS dlya samoletov 5-go pokoleniya. Obzor po materialam inostrannoi pečati. (Moscow, NITs GosNIAS, 2002.

**10. Jane's Avionics Data Resource // 1994 – 2003.**

**11. Denisov B.** Zarubezhnoe voennoe obozrenie, 2003, no. 11, pp. 44-52.

**12. Lifanov U.S., Sablin V.N., Saltan M.I.** Napravleniya razvitiya zarubezhnykh sredstv nablyudeniya za polem boya. Moscow, Radiotekhnika, 2004.

**13. Aleksandrov B.** Zarubezhnoe voennoe obozrenie, 1996, no. 3, pp. 39-44.

**14. Gus'kov U.N.** Informatsionno-analiticheskii zhurnal Korporatsii «Fazotron-NIIR», 2011, no. 3-4, pp. 4-5.

**15. Lazutkin A.B.** Informatsionno-analiticheskii zhurnal Korporatsii «Fazotron-NIIR», 2011, no. 3-4, pp. 50-53.

**16. Interv'yu s general'nym direktorom NIIP im. V.V. Tikhomirova Yuriem Belym.** Natsional'nyi aerokosmicheskii zhurnal «Vzlet», 2013, no. 8-9, pp. 62-63.

17. **Kolod'ko G., Gribkov M., Frolov I., Andreev N.** Voennyi parad, 2009, no. 5, pp. 66-67.
18. **П'ин V.** Aviatsiya i kosmonavtika, 2014, no. 12, pp. 44-47.
19. **Sitnov A., Klyagin A., Nazarenko V.** Informatsionno-analiticheskii zhurnal Korporatsii «Fazotron-NIIR», 2012, no. 1, pp. 43-45.
20. **Fomin A.** Pyatoe pokolenie u nas i u nikh. Natsional'nyi aerokosmicheskii zhurnal «Vzlet», 2010, no. 3, p. 23.
21. NATIONAL HARBOR, Md. Northrop Grumman's Scalable Agile Beam Radar (SABR) to Help Extend Viability of U.S. Air Force F-16s Beyond 2025. PRNewswire, Sept. 18, 2013. Available at: <http://www.prnewswire.com/news-releases/northrop-grummans-scalable-agile-beam-radar-sabr-to-help-extend-viability-of-us-air-force-f-16s-beyond-2025-224264671.html> (accessed 10.03.2015).
22. **Barinov N.N., Blokhin A.E., Voronezhstsev A.V., Griбанov A.N., Ivanov P.M., Loskutov B.P., Mitin V.A., Moseichuk G.F., Nezvinskii A.N., Pozdnyakova R.D., Yastrebov B.P.** Antenny, 2005, no. 2, pp. 17-22.
23. **Spasskii N.** Aviatsionnoe oruzhie i avionika. Oruzhie i tekhnologii Rossii. Entsiklopediya. XXI vek. Tom 10. Moscow, Izdatel'skii dom «Oruzhie i tekhnologii», 2005.
24. **Kol'tsov Yu.V.** Antenny, 2014, no. 4, pp. 13-37.
25. **Kol'tsov Yu.V.** Antenny, 2014, no. 6, pp. 21-38.
26. **Vinogradov M.** Zarubezhnoe voennoe obozrenie, 2008, no. 2, pp. 51-57.
27. AWACS Surveillance Radar. The Eyes of the Eagle. Available at: <http://www.northropgrumman.com/capabilities/awacsapy2/documents/awacs.pdf> (accessed 30.03.2015).
28. **Fiolentov A.** Zarubezhnoe voennoe obozrenie, 2002, no. 4, pp. 44-46.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Нечаев Евгений Евгеньевич**, 1952 г.р., окончил НЭТИ (1974), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 180 научных работ, область научных интересов – теория УВД, радиолокация, радионавигация, теория и техника СВЧ измерений.

**Дерябин Кирилл Сергеевич**, 1988 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – радиолокация, бортовые радиолокационные станции.