

УДК 621.37

М. М. Калипанов Kmm75565@mail.ru*К.Ж. Исабаев* rtv_nk@mail.ru*А.Д. Есетов**Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи,**г. Алматы, Республика Казахстан*

РАЗВИТИЕ РАДИОЛОКАЦИИ

В статье приводится обзор историй зарождения и развития радиолокационных систем от первых опытов в Советском Союзе. Приведены авторы, имевшие отношение к зарождению радиолокации, и специалисты, проводившие практические эксперименты по возможности радиообнаружения. Рассматриваются достижения других стран в области радиолокации. Приведены примеры применения радиолокационных станций в годы Второй мировой войны в СССР. Также условно разделено историческое развитие радиолокаций на семь этапов.

Ключевые слова: радиолокация, радиоволны, отраженный сигнал, обнаружение, определение координат, радиолокационная аппаратура, измерение координат.

Введение

Радиолокация в целом представляет сложную систему образцов радиоэлектронного оборудования. Эта система сложилась исторически, развивается на протяжении десятилетий. Сложность системы радиолокационной аппаратуры и ее основные особенности обусловлены разнообразием классов, типов, технических решений и элементной базы.

Точно определить дату, когда было положено начало современной радиолокации, трудно, но можно с уверенностью сказать, что серьезное развитие началось независимо и почти одновременно в нескольких странах в середине 30-х годов.

Методология исследования

Для публикации статьи был осуществлен обзор литературы и доступных научных публикаций, а также проведен анализ имеющихся радиолокационных станций и комплексов обнаружения различных стран. По имеющимся публикациям и научным статьям условно развитие радиолокации на этапы [1-20].

Результаты и обсуждение

В прошлом столетии, около 90 лет назад, в начале января 1933г. произошло событие, имеющее непосредственное отношение к рождению радиолокации. Где П.К. Ощепков доложил в своей записке о целесообразности применения в аппаратуре радиообнаружения метода импульсного излучения радиоволн вместо непрерывного в целях обнаружения воздушных объектов на больших дальностях начальнику Управления противовоздушной обороны (ПВО). В том же году П.К. Ощепков также докладывает о принципе использования в системе ПВО радиотехнических средств обнаружения Народному комиссару обороны.

В январе следующего года впервые в СССР уже опытами в виде экспериментов доказывалась практическая возможность радиообнаружения самолетов с помощью отраженной от него электромагнитной энергии, которые провели Ю.К. Коровин, С.Н. Савин и В.А. Тропилло.

В июле 1934 года создана первая аппаратура радиообнаружения «Рапид» и в последующем испытана, а создателем аппаратуры выступил Ленинградский электрофизический институт (ЛЭФИ), в котором непосредственным руководителем проекта являлся инженер Б.К. Шембель. Вышеуказанные эксперименты, которые проводились на аппаратуре «Рапид», подтвердились о надежном радиообнаружении летательных аппаратов и самолетов. Устройство под названием «Рапид» является прототипом дальнейших разработок системы обнаружения «Ревень» (РУС-1) [1-7].

Крупные страны, такие как Великобритания, Франция, Италия и Япония, в 30-е годы исследовали радиолокационные станции (РЛС) с непрерывным излучением, отличие их

заключалась в том, что антенны передающей и приемной системы были разнесены на некоторое расстояние друг от друга и назывались двухпозиционными. Летающие объекты, пролетающие между передающей и приемной антеннами, обнаруживались по доплеровским биениям, создаваемым непосредственно прямым сигналом и отраженным сигналом от цели.

Необходимо отметить, что акты испытаний аппаратуры «Рапид» от 11 июля 1934 года и от 5–11 марта 1935 года, а также протокол от 9 августа 1934 года, опубликованные в литературе США и Великобритании, являются первыми историческими официальными документами о проведенных испытаниях радиолокационной аппаратуры. Данная аппаратура специально создана для обнаружения самолетов и летательных аппаратов с помощью радиоволн.

В 1934 году в декабре в научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) военно-морских сил (ВМС) США впервые наблюдалось явление отражения сигнала импульсного радиолокатора от воздушных объектов. В июле 1936 года американцами в импульсной РЛС, работающей на частоте 200 МГц, впервые был применен антенный переключатель, что позволило в дальнейшем использовать единую антенну как для передачи, так и для приема. Антенный переключатель явился в дальнейшем важным достижением в области радиолокации [19].

После испытаний устройства «Рапид» по полученным результатам в Управлении ПВО РККА начались вестись поиски новых решений, направленные прежде всего на увеличение дальности радиолокационного обнаружения и визуального отображения воздушных целей независимо от их количества, а также на принятие решения задачи оптимального варианта по определению координат и параметров движения воздушных целей. В результате этих решений П.К. Ощепковым были разработаны основные принципы построения системы радиообнаружения для службы визуального наблюдения и оповещения самолетов (ВНОС), названной им «Электровизор». В разработке содержалось две идеи:

- создание радиолокатора с круговым обзором пространства, дальность обнаружения которого составляет 100–200 километров с отображением отраженного радиосигнала на световом экране обзора;
- создание радиолокационного устройства с одной излучающей аппаратурой и несколькими разнесенными радиоприемниками.

После проведенных в апреле 1939 года положительных результатов испытаний на макетах импульсных радиолокаторов Комитет обороны при Совете народных комиссаров (СНК) выработал постановление, обязующее Научно-исследовательский институт радиопромышленности (ныне ВНИИРТ) о разработке и создании двух комплектов радиолокационной станции дальнего обнаружения на автомобилях. Под руководством А.Б. Слепушкина и группы ведущих инженеров института Л.В. Леонова, Р.С. Буданова, И.И. Вольмана, Д.С. Михалевича, В.В. Самарина, Ю.К. Аделя и других велась разработка по созданию станции. Созданная инженерами ВНИИРТ станция «Редут» прошла успешные испытания и была принята на вооружение войсками ПВО под названием РУС-2 (радиоуправляемый сигнал). Этим же институтом до Великой Отечественной войны (ВОВ) было изготовлено 10 опытных образцов РЛС РУС-2 [20].

За годы ВОВ инженерами института на РЛС РУС-2 провели полноценную модернизацию. Первоначально был решен вопрос совмещения в одной антенне передачи и приема радиосигнала. Идея и схема одноантенного варианта станции принадлежали инженеру Д.С. Михалевичу. Идея использования двух антенн в одну основана на применении свойств четвертьволновой линии передачи. Передающее устройство с помощью автотрансформаторной связи подключают к двухпроводному фидеру, к которому на расстоянии в четверть длины волны от анодного контура подключается фидер питания приемного устройства. РЛС работает в импульсном режиме с использованием ламповых электрических разрядников, автоматически подключающих антенну на передачу или на прием, защищающих входную цепь приемника от мощных высокочастотных

радиоимпульсов передатчика. Также в новой станции был впервые применен бесконтактный токосьемник из индуктивно связанных цепей, что позволяло вращение фургона на замену вращением антенны. Амплитудный индикатор пришел в замену яркостного индикатора. Новая РЛС «Пегматит» под названием РУС-2С была принята на вооружение в начале 1942 года. В этом же году она была подвергнута модернизации и в дальнейшем переименована в РЛС П-2М. На заводах оборонной промышленности СССР радиолокаторы РУС-2С и П-2М выпускались до окончания войны. При этом упомянутые локаторы после модернизации позволили существенно увеличить их выпуск по сравнению с РУС-2. К примеру, в 1945 году было произведено 294 комплекта.

Станция «Пегматит-3» (П-3), способная измерять третью координату (высоту) с помощью двухъярусной антенны и гониометра, была разработана НИИ радиопромышленности в мае 1943 года.

В послевоенные годы на развитие радиолокаций большое влияние оказала реактивная авиация, ракетное вооружение, современные тактические приемы того времени, новые методы преодоления эшелонов ПВО, а также использование различных видов радиопомех.

Исследования по защите РЛС от пассивных помех начаты в 1946 году. После окончания ВОВ появляются новые электронные приборы, такие, как лампы бегущей и обратной волны (ЛБВ и ЛОВ), повышается мощность генераторных ламп, в том числе и в сантиметровом диапазоне волн. Проведены широкоплановые как теоретические, так и экспериментальные работы по антенным устройствам направленного действия и в волноводных системах. Произведено индикаторное устройство с длительным послесвечением, которое позволило хранить радиолокационную информацию в течение одного оборота антенны РЛС. В первых РЛС, разработанных в послевоенные годы, было применено отображение на индикаторе воздушной обстановки вкруговую. Быстрое развитие магнетронных усилителей с высоким коэффициентом полезного действия (КПД) и с большим коэффициентом усиления, высокой фазовой стабильностью и широкой полосой пропускания усиливаемых радиочастот.

Разрабатывались и внедрялись перестраиваемые по частоте передающие и приемные устройства. Ведется усовершенствование основы теоретического и схемных принципов автосопровождения локационных целей. Таким образом, можно отметить, что были созданы производственно-технологические и научно-технические направления для создания новых образцов РЛС. Локатор П-3А стал первой станцией метрового диапазона, принятой на вооружение после ВОВ, окончание разработки локатора П-3А в 1948 году, произведено таких станций 435 комплектов.

Самой первой станцией сантиметрового диапазона волн была РЛС П-20, которую на вооружение приняли подразделения ВНОС в 1949 году. Данная станция осуществляла круговой обзор пространства и обнаруживала локационные цели в зоне своего действия РЛС, что позволило отображать воздушную обстановку на индикаторе кругового обзора (ИКО) и на выносном ИКО командного пункта (КП) авиации. В 1938 году профессор М.А.Бонч-Бруевич высказал идею использования V-луча в РЛС, с помощью которого определялись координаты воздушных объектов: азимут, дальность и высота. Также к станциям придавалось запросное устройство – наземный радиолокационный запросчик НРЗ-1 для опознавания своих самолетов. На вооружение в 1950 году принята стационарная станция П-50 «Обсерватория».

В 1956 году во ВНИИРТ под руководством В.В.Самарина на базе РЛС П-20 и П-50 была разработана РЛС П-30, которая отличалась от этих станций улучшенными тактико-техническими данными, надежностью и простотой.

Трехкоординатная РЛС П-8 метрового диапазона волн была разработана главным конструктором Бухваловым Евгением Васильевичем в 1950 году. В комплекте индикатора высоты имеется гониометр, который позволял определять угол места, и с помощью номограмм можно было определять высоту полета цели. Впервые в РЛС разработана и

внедрена простейшая система селекции движущихся целей (СДЦ) с когерентным гетеродином. Отображения подвижных целей осуществлялись по биениям между отраженным сигналом и напряжением когерентного гетеродина. Вспомогательный когерентный гетеродин применялся для синхронизации по фазе когерентного напряжения с излучаемыми станцией колебаниями.

Инженером Облезиным А.И. было разработано новое антенно-мачтовое устройство высотой 30 метров «Унжа» для увеличения дальности обнаружения воздушных целей на малых и средних высотах. Для расширения возможности РЛС П-8 оснастили двумя антенно-мачтовыми системами: штатной и высотной мачтой. В войсках ПВО высотная мачта получила широкое применение. Всего был выпущен 1841 комплект РЛС П-8.

В 1953 году РЛС П-10 и в 1956 году РЛС П-12 (П-12М, П-12МП, П-12МА, П-12НП) – по своей сути это последующие модернизации РЛС П-8, отличие которых заключалось в улучшенной защищенности от радиопомех, повышенной мощностью передающего устройства и усовершенствованные ТТД. Главным конструктором РЛС П-10 был Бухвалов Е.В. Всего выпущено 2254 комплекта.

В середине 50-х годов разработка и выпуск трехкоординатных РЛС были приостановлены из-за обеспеченности требуемой информативности и точности определения высоты локационных целей на дальностях свыше 200 километров имеющимися методами.

Середина 70-х годов стала основным направлением в разработке РЛВ и в создании дальномеров, таких как РЛС П-15 в 1956г, П-35 в 1958г, П-14 в 1959г, П-80 в 1962г, П-37 в 1967г, П-14Ф в 1968г, АРЛСК П-95 в 1968г, П-70 в 1970г, П-96 в 1970г, 5Н84А в 1974г, 5Н87 в 1974г и автономных высотномеров ПРВ-10 в 1955г, ПРВ-11 в 1961г, ПРВ-9 в 1965г, ПРВ-13 в 1969г, ПРВ-17 в 1975г. Стационарная трехкоординатная РЛС П-90 1962г. является исключением из этого ряда. В отличие от РЛС П-12 в РЛС П-18 стала двухкоординатной из-за исключения гониометра. Но была реализована электромеханическая система качания луча.

Также производились РЛС специального назначения. И для выноса рубежей радиолокационной разведки в океан на дальности до 2000 км от побережья в 1966-м на вооружение авиации ВПВО поступил самолет дальнего радиолокационного дозора ТУ-126 с бортовым радиолокационно-связным комплексом «Лиана».

Для создания высокопроизводительных, обеспечивающих выполнение заданных требований трехкоординатных РЛС в 70-е годы была разработана теория и техника антенных систем с частотным и фазовым управлением диаграммой направленности антенны.

РЛС 5Н88 и 5Н59 «СТ-68» были первыми разработками в этой области и оказались не очень удачными и не приняты войсками ПВО на вооружение.

Станция «Машук», которая была разработана в 1977 году, предназначена для обнаружения аэродинамических воздушных целей и ракет в сложной помеховой обстановке, которая выполняла функции радиолокационного узла с замкнутыми на нее средствами. Достоинством данной станции было то, что в ней были реализованы современные научно-технические достижения того времени. Но также она имела недостатки: это громоздкость, сложность в изготовлении, низкая надежность и высокая стоимость. По имеющемуся уже опыту были созданы РЛС нового парка.

Трехкоординатная подвижная РЛС СТ-68 1980 года разработки предназначалась для обнаружения, определения координат и сопровождения маловысотных целей в различных помеховых обстановках, при наличии мощных отражений от земной поверхности и гидрометеообразований. В станции была применена фазированная антенная решетка (ФАР) с фазочастотным управлением лучом: частотным – в угломестной плоскости и фазовым – в горизонтальной плоскости. В таких классах РЛС впервые была реализована автоматическая обработка информации с выдачей трасс по телекодовым каналам связи на комплексные средства автоматизации (КСА). Адаптация к различной помеховой обстановке, а также управление, обработка и контроль обеспечивались специальным вычислителем и

центральный вычислительный комплекс.

По сравнению с РЛС 5Н88 и РЛС СТ-68 дальнейшие разработки трехкоординатных РЛС были упрощенными, надежными, удовлетворяющими требованиям войск ПВО, приемлемой сложности и стоимости. К примеру, 5Н69 1978 года выпуска разработана в ГНИИРТ под руководством главного конструктора Соколова Юрия Николаевича, разработанная в 1981 году Запорожским НПО «Искра» под руководством М.И. Мирошниченко РЛС 19Ж6, РЛС 55Ж6 разработана под руководством А.А. Зачепиского в ГНИИРТ, РЛС 22Ж6М разработана 1986 году под руководством И.А. Евсеева Правдинским КБ ЗРА.

В 70-е годы бурно начала развиваться цифровая техника, которая привела к революции в методах обработки радиолокационных сигналов и продолжается и нынче. Почти все виды обработки радиосигналов и данных сейчас осуществляются цифровыми методами, если не считать некоторые аналоговые устройства для сжатия импульсов. В 1978 году в РЛС 5У75 «Перископ-В» впервые была применена цифровая техника для обработки сигналов, главным конструктором являлся Метельский Анатолий Тимофеевич. Для оперативного изменения амплитудно-скоростной характеристики был применен цифровой режекторный фильтр, который подавлял пассивные помехи.

РЭТ РТВ начиная с 1977 года в той или иной степени стали «цифровыми». Практическая реализация систем сжатия импульсов в 70-е годы, их возможности расширились, которые обеспечивали высокое разрешение по дальности при использовании сложных зондирующих сигналов. Все РЛС с 1978 года, которые предназначались для обнаружения и сопровождения воздушных целей на средних и больших высотах, использовали сложные фазочастотно-модулированные сигналы. Использование таких видов сигналов значительно увеличило дальность обнаружения, защищенность от различных активных шумовых помех, точность измерения координат и разрешающую способность.

Возможность исследования широкополосных и многочастотных сигналов в 80-е годы привела к созданию аппаратуры, которая позволила получать дополнительную радиолокационную информацию о характере воздушных объектов – класс цели: самолет стратегической авиации, самолет тактической авиации, ракета, ракета-ловушка.

Полностью автоматизировать процессы обнаружения, измерения координат воздушных объектов, сопровождение целей трассой позволило при использовании микропроцессорных интегральных схем и быстродействующих цифровых микросхем. Решена задача на РЛС по обработке первичной и вторичной информации.

Одновременно с разработкой РЭТ велись работы и по созданию аппаратуры опознавания воздушных объектов.

Говоря о развитии отечественной радиолокации, можно условно выделить несколько исторических этапов, характеризующихся своими достижениями в науке и технике.

Первый этап – с середины 30-х годов до середины 40-х годов можно назвать этапом первоначального развития радиолокационной техники дальнего обнаружения. Он характеризовался следующими достижениями:

- экспериментально доказана практическая возможность радиообнаружения самолета с помощью отраженной от него электромагнитной энергии (январь 1934 г.);
- показана возможность создания аппаратуры радиообнаружения самолетов (июнь 1934 г.) и доказана возможность создания средств радиообнаружения с тактико-техническими характеристиками (ТТХ), удовлетворяющими требованиям войск ПВО (1937– 1938 гг.);
- создана многопозиционная РЛС с непрерывным излучением РУС-1 (1939г) и импульсная РЛС кругового обзора РУС-2 (1940г), а также РЛС П-3 (1944г), способная измерять третью координату – высоту – с помощью двухъярусной антенны и гониометра[19].

Второй этап ориентировочно охватывает период времени с середины 40-х до середины 50-х годов. Для него характерны:

- освоение сантиметрового диапазона волн;
- создание трехкоординатных РЛС (V-луч, двухъярусные антенны с гониометром), обеспечивающих измерение высоты на «проходе»;
- увеличение средней мощности излучения РЛС и высоты подъема антенны для увеличения дальности обнаружения воздушных объектов;
- появление систем селекции подвижных целей, реализована перестройка РЛС на запасные частоты при воздействии активных помех.

Третий этап середина 50-х – середина 60-х годов. Он характерен следующим:

- доминирующий принцип создания средств радиолокационного обнаружения воздушных объектов – принцип комплексирования дальнометра и высотомера;
- автоматизация процессов сбора, обработки и передачи радиолокационной информации: принимаются на вооружение и поступают в войска объекты автоматизированных систем управления (АСУ) систем «Воздух» и «Луч»;
- оснащение всех РЛС первой общегосударственной системой радиолокационного опознавания «Кремний-2М»;
- начата разработка специальных маловысотных дальнометров и высотомеров с целью обеспечения сплошного радиолокационного поля с требуемым качеством при невысокой стоимости материальных затрат. Создается двухъярусное радиолокационное поле [4-11].

Период от середины 60-х до середины 70-х годов можно считать очередным **четвертым этапом** развития радиоэлектронной техники (РЭТ) радиотехнических войск (РТВ). Для него характерны:

- увеличение средней мощности излучения и рост размеров антенных систем (П-80А, П-14Ф, П-70, П-90);
- улучшение степени когерентности и сложности модуляции излучаемых сигналов;
- существенное повышение помехоустойчивости РЛС, реализация адаптивных средств помехозащиты;
- развитие пассивной локации постановщиков активных помех.

Пятый этап ориентировочно охватывает период с середины 70-х годов по настоящее время. В этот период бурно развивается цифровая техника, теория и техника антенных систем, другие области науки и техники.

Шестой этап начало 80-х и начало 90-х характеризуется следующим:

- новые технические возможности и повышенные требования к информативности, помехозащищенности и живучести привели к отказу от комплексов «дальномер + высотомер» и возрождению трехкоординатных РЛС кругового обзора на качественно новом уровне (электронное сканирование и многоканальность по углу места);
- принципиальные изменения элементной базы позволили существенно уменьшить количество транспортных единиц образцов РЭТ при увеличении их функциональных возможностей;
- созданы твердотельные мобильные РЛС;
- обеспечены автоматическое обнаружение и измерение координат воздушных объектов и их автоматическая выдача на комплексы средств автоматизации (КСА);
- перераспределяются задачи между РЛС и КСА. На РЛС реализована не только первичная, но и вторичная обработка информации – автоматическая проводка трасс целей;
- реализованы волоконно-оптические линии связи между РЛС и КСА, между кабинами РЛС;
- создана аппаратура, позволяющая по сигнальным признакам распознавать класс аэродинамических целей;
- созданы унифицированные ремонтные модули.

Нынешний этап ориентировочно охватывает период с середины 90-х годов по настоящее время. В этот период происходит спад развития радиолокации в связи распадом Советского Союза. И только в середине 2000-х начинается возобновление развития

радиолокации, но уже в бывших союзных республиках происходит свое развитие радиолокации.

В Республике Казахстан свое развитие радиолокации начали с модернизации радиоэлектронной техники, которое нам досталось от ВС СССР. В 2007 году впервые начали модернизировать РЛС П-18, которое начало проводить Алматинское совместное конструкторское технологическое бюро (СКТБ) «Гранит». Основными направлениями по модернизации данного локатора являлись прежде всего:

- замена устаревшей ламповой элементной базы аппаратуры РЛС, имеющей низкую надёжность, на современную, твердотельную;
- введение цифровой обработки сигналов и алгоритмов автоматического обнаружения и сопровождения целей;
- отображение первичной и вторичной РЛИ и служебной информации на цветных мониторах на рабочих местах операторов;
- введение усовершенствованной аппаратуры компенсации активных шумовых помех;
- введение систем вторичной обработки, контроля и диагностики аппаратуры, отображения информации и управления на базе универсальной ЭВМ;
- обеспечение сопряжения с современными АСУ.

С 2014 года начала проходить модернизацию РЛС 5Н84А, далее начались закупаться французские трехкоординатные РЛС сантиметрового диапазона GM-403. После договоренности Казахстана с Францией было создано совместное предприятие по выпуску РЛС «НУР» (GM-403).

Таким образом, современный этап развития РЭТ существенно отличается от предыдущих по уровню технологии и обеспечиваемых ею принципиальных возможностей построения РЛС. Однако существует ряд научно-технических проблем, требующих решения:

- обоснованное распределение задач (функций), возложенных на тот или иной класс радиолокационного вооружения, рациональный выбор типажа парка радиолокационного вооружения, оптимизация сложности образцов, объемов производства, расхода и восполнения ресурса;
- обеспечение автоматизации обработки радиолокационной информации (РЛИ) в РЛС различного типа в условиях использования противником комбинированных (активных и пассивных) помех;
- повышение информативности радиолокационного вооружения (в том числе определение размеров, формы и других свойств воздушных объектов);
- повышение надежности и ремонтпригодности, снижение габаритов, массы, стоимости образцов.

Также опыт локальных войн показывает, что обнаружение малоразмерных и беспилотных летательных аппаратов на малых и предельно малых высотах остается открытым и требует научных исследований путем новых способов и методов по обнаружению. Есть также вопросы, которые подлежат обсуждению – это применение аэростатов с радиолокационными станциями, они могут стать средством борьбы с ударными дронами. Ранее, в 1970-е годы на Крайнем Севере аэростаты с автоматическими РЛС были штатными средствами разведки. Они обнаруживали цели без участия человека и передавали полученную информацию.

Непрерывное развитие и совершенствование радиолокационной системы и ее элементов обусловлено, с одной стороны, совершенствованием средств воздушного нападения и тактики их боевого применения, а с другой – новыми достижениями науки и техники в области радиолокации и радиоэлектроники. Знание истории развития и проблем техники РТВ позволяет вскрыть основные закономерности, определяющие облик и развитие радиолокационной системы, принципы построения и пути совершенствования основных классов радиоэлектронной техники [1-7].

Литература

1. Основы построения радиолокационного вооружения радиотехнических войск. – Харьков: ВИРТА ПВО, 1986. – 348 с.
2. Принципы построения радиолокационного вооружения. – Тверь: ВКА ПВО, 1997. – 192 с.
3. Лобанов М.М. Развитие советской радиолокационной техники. – М.: Воениздат, 1982.
4. Хорошилов П.Е. Это начиналось так. – М.: Воениздат, 1970 г.
5. Бондаренко Б.Ф. Основы построения РЛС РТВ. – Киев: КВИРТУ ПВО, 1987. – 368 с.
6. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. – М.: Сов.радио, 1973. – 496 с.
7. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. /М: Сов.радио, 1970. – 560 с.
8. Кривицкого Б.Х. Справочник по радиолокационным системам/ В 2-х томах. Т.2. –М.: Энергия, 1979. – 368 с.
9. Алмазов В.Б. Локационная системотехника. – Харьков: ВИРТА ПВО, 1993. – 618 с.
10. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М.: Сов.радио, 1975. – 336 с.
11. Основы построения средств радиолокации. Конспект лекций. Ч. 1. – СПб.: СПВУРЭ ПВО, 1998. – 148 с.
12. Основы построения средств радиолокации. Конспект лекций. Ч.2. – СПб.: ФВУ ПВО, 1999. – 103 с.
13. Лезин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.
14. Бетин Б.Н. Радиопередающие устройства. – М.: Высш.школа, 1972. – 352 с.
15. Воскресенский Д.И. Антенны и устройства СВЧ (Проектирование ФАР). – М.: Радио и связь, 1981. – 432 с.
16. Седышева Ю.Н. Приемные устройства радиолокационных сигналов. Ч. 2. – М.: Воениздат, 1977. – 131 с.
17. Григорина-Рябова В.В. Радиолокационные устройства. – М.: Сов.радио, 1970. – 680 с.
18. Седышев Ю.Н. Теория и техника генерирования, излучения и приема радиолокационных сигналов. – Харьков: ВИРТА ПВО, 1986. – 650 с.
19. Светлов А. В. Радиолокация: зарождение и развитие // Инжиниринг и технологии. – 2017. – Vol. 2(1). – DOI 10.21685/2587-7704-2017-2-1-1
20. Тяпкин В.Н. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск. / Красноярск Учебник. Сибирский федеральный университет, 2011.