

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ /  
AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION**

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.6>

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОДИАПАЗОННОГО МНОГОПОЗИЦИОННОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО  
КОМПЛЕКСА**

Научная статья

**Коломоец Р.В.<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны, Ярославль, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (kr74[at]yandex.ru)

**Аннотация**

В статье рассматриваются состав и способ распознавания целей различных классов радиолокационных комплексов, модернизация и совершенствование систем на программно-аппаратном уровне.

Отмечается, что сложным системам присуще скачкообразное изменение поведения при переходе из одного состояния в другое, изменение ее состояния происходит закономерно, новое состояние системы зависит от текущего состояния и от приложенных к системе внешних воздействий. Обращается внимание на то, что объединение радиолокационных модулей одного диапазона на разнесенных позициях в многопозиционном радиолокационном комплексе позволяет сохранить дальность обнаружения в условиях радиолокационных помех, а в некоторых случаях и повысить ее, существенно повысить эквивалентную разрешающую способность и снизить разрешаемый объем, повысить вероятность распознавания строев и классов воздушных объектов за счет добавления дополнительных признаков.

Делается заключение, что при объединении в многопозиционную систему разнесенных в пространстве многодиапазонного радиолокационного комплекса появляется эмерджентность с присущими ей свойствами.

**Ключевые слова:** радиолокационный комплекс, многодиапазонный, многопозиционный, модернизация, обнаружение, система, объединение.

**A SYSTEM ANALYSIS OF A MULTIBAND MULTILEVEL RADAR FACILITY**

Research article

**Kolomoets R. V.<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> Yaroslavl Higher Military Institute of the Air Defense, Yaroslavl, Russian Federation

\* Corresponding author (kr74[at]yandex.ru)

**Abstract**

This article examines the composition and method of target recognition of different classes of radar facilities, upgrading and improving the systems at the hardware and software levels.

It is noted, that the complex systems are characterized by discontinuous change of behaviour at transition from one state to another, change of its state occurs naturally, the new state of system depends on a current state and from the external influences applied to system. Attention is paid to the fact that combining radar modules of the same range on the separated positions in multilevel radar complex allows to keep the range of detection in conditions of radar interference, and in some cases and increase it, significantly raise equivalent resolving power and reduce the resolving volume, as well as probability of recognition of lines and classes of air objects due to addition of additional attributes.

It is concluded that by combining the spatially separated multilevel radar facility into a multibrand system, an emergence with its intrinsic properties occurs.

**Keywords:** radar facility, multiband, multilevel, modernization, detection, system, unification.

**Введение**

В период использования и совершенствования современной военной техники многопозиционный радиолокационный комплекс (МП РЛК) является достаточно актуальным [6, С. 193]. Проанализируем его с позиций и в терминологии основ организации производства сложных технических систем.

Целью данной статьи является разработка и рассмотрение новых алгоритмов обнаружения с помощью радиолокационных комплексов.

Актуальность рассматриваемого вопроса хорошо просматривается на опыте боевых действий при нахождении в местах постоянной или временной дислокации, в зоне специальных военных операций, военных конфликтов, правильное и точное обнаружение дает отличную возможность выполнить поставленную задачу, именно поэтому необходимо уделять большое значение организации и контролю системы. Для этого проанализируем многопозиционный радиолокационный комплекс (МП РЛК) с позиций и в терминологии основы организации производства сложных технических систем.

Под многодиапазонным многопозиционным радиолокационным комплексом (МД МП РЛК) будет пониматься система, состоящая из многодиапазонного (МД) РЛК1 в составе радиолокационного модуля дециметрового диапазона (РЛМ-Д1), радиолокационного модуля метрового диапазона (РЛМ-М1) и МД РЛК2 в составе РЛМ-Д2, РЛМ-М2, при этом МД РЛК1 и МД РЛК2 разнесены на местности на величину базы (30-90 км и более), а РЛМ-М и РЛМ-Д в пределах каждого МД РЛК разнесены на местности не более чем на 1000 м (работают на одной позиции) [2].

Применительно к объекту данного исследования (радиолокационным комплексам) в терминах ООП объектами будут выступать РЛС, РЛМ и РЛК.

### Общие положения

Любая конкретная радиолокационная станция является объектом (экземпляром) класса РЛС с присущей ей индивидуальностью. РЛМ-М, РЛМ-Д – объекты класса РЛС, имеющие общие атрибуты (характеристики), но различные их количественные реализации [10].

РЛМ-М, РЛМ-Д – наследники класса РЛС, наследует все черты класса РЛС и различаются количественными значениями определенных показателей (разрешающие способности по координатам, точность измерения координат ВО, величина эффективной поверхности рассеивания для определенного ВО в заданном частотном диапазоне РЛМ, возможности по когерентному накоплению в режиме равномерного кругового обзора, возможности по перестройке частоты в пределах частотного диапазона, влияние технологии СТЭЛС на возможности по обнаружению, помехозащищенность и т.д.):

- МД РЛК – наследник классов РЛМ-Д и РЛМ-М, наследует все черты классов РЛМ-Д и РЛМ-М и имеет индивидуальные характеристики за счет их объединения в многодиапазонный РЛК.

- МП РЛК – наследник классов РЛМ-Д и РЛМ-М, наследует все черты классов РЛМ-Д и РЛМ-М и имеет индивидуальные характеристики за счет их объединения в многопозиционный РЛК (РЛМ-Д1 и РЛМ-Д2 в МП РЛК-Д – дециметрового диапазона, РЛМ-М1 и РЛМ-М2 в МП РЛК-М – метрового диапазона). МД РЛК и МП РЛК как классы существуют параллельно и не влияют друг на друга. МД МП РЛК – наследник классов МД РЛК и МП РЛК, наследует все черты класса МД РЛК и класса МП РЛК, имеет индивидуальные характеристики за счет объединения в МД МП РЛК.

Операция обнаружение и распознавание для каждого экземпляра класса РЛМ-М, РЛМ-Д, МД РЛК, МП РЛК, МД МП РЛК своя (полиморфизм), включающая возможности класса родителя, свои возможности и приобретенные возможности за счет объединения в МД РЛК, объединения в МП РЛК, объединения в МД МП РЛК [5].

Сама процедура радиолокационного распознавания классов (РРК) для РЛМ-М, РЛМ-Д по сути одинаковая, но ее реализация разная, результаты отличаются в связи с различными свойствами при облучении воздушного объекта (ВО) электромагнитной энергией (ЭМЭ) разного диапазона волн с различных ракурсов, при переотражении ЭМЭ ВО в разные стороны [3].

Для базового класса РЛС наследниками являются классы РЛМ-М и РЛМ-Д. Каждый из РЛМ (РЛМ-Д, РЛМ-М) может делать все, что делает «родитель» (РЛС), и что-то свое, специфическое, чем он отличается от своих «братьев». МД РЛК состоит из РЛМ-М и РЛМ-Д, он умеет делать все, что умеют делать РЛМ-М и РЛМ-Д, но за счет объединения в МД РЛК появляются дополнительные свойства, результаты того же качества, что и в РЛМ-М и РЛМ-Д, достигаются быстрее, появляется временной (энергетический) избыток, который может быть использован в интересах РРК, или же качество получаемой информации за фиксированных временной интервал будет выше (но теряется ряд свойств каждого РЛМ).

МП РЛК состоит из РЛМ-М1 и РЛМ-М2, или из РЛМ-Д1 и РЛМ-Д2, он умеет делать все, что умеют делать РЛМ-М и РЛМ-Д, но за счет объединения в МП РЛК появляются дополнительные свойства, результаты того же качества, что и в РЛМ-М и РЛМ-Д, достигаются быстрее, появляется временной (энергетический) избыток, который может быть использован в интересах РРК, или же качество получаемой информации за фиксированных временной интервал будет выше (но теряется ряд свойств каждого РЛМ) [7, С. 17].

МД МП РЛК состоит из МД РЛК, и МД РЛК2, он умеет делать все, что умеют делать МД РЛК1 и МД РЛК2, но за счет объединения в МД МП РЛК появляются дополнительные свойства, результаты того же качества, что и в МД РЛК1 и МД РЛК2, достигаются быстрее, появляется временной (энергетический) избыток, который может быть использован в интересах РРК, или же качество получаемой информации за фиксированных временной интервал будет выше, (но теряется ряд свойств каждого МП или МП РЛК). Одним из вариантов МД МП РЛК является РЛК в составе РЛМ-М и РЛМ-Д при их разнесении в пространстве на величину базы (30-90 км и более).

При объединении РЛМ различного диапазона в МД, МП, МД МП РЛК любому РЛМ безразлично каким способом получена необходимая информация для РРК ВО от другого РЛМ (инкапсуляция). При вызове операции в ООП системе не нужно беспокоиться о том, сколько реализаций этой операции существует в системе [11, С. 55]. Полиморфизм операторов перекладывает ответственность за выбор подходящей реализации на иерархию классов.

Добавление РЛМ-С (наследника класса РЛС) позволяет еще больше повысить положительный эффект от объединения в МД РЛК или МП РЛК или МД МП РЛК. При этом полиморфизм и инкапсуляция означает, что процедуры РРК будут вызываться одними и теми же функциями и выдавать результат в требуемом виде без изменения механизмов взаимодействия на уровне РЛМ-М – РЛМ-Д – РЛМ-С.

Как правило, все изменения, связанные с модернизацией и совершенствованием созданных по ООП систем, реализуются на программно-аппаратном уровне, иногда – достаточно только программной надстройки [9].

Следует отметить, что при объединении РЛМ различного взаимного расположения (на совмещенной позиции – до 1000 м, или на разнесенной позиции – до 30-90 км) и диапазона волн (метрового, дециметрового или сантиметрового, например) в МД РЛК, или МП РЛК, или МД МП РЛК, в новой сложной системе (МД РЛК, МП РЛК, МД МП РЛК) возникает свойство эмерджентности, присущее всем сложным техническим системам, которое, в общем случае, включает три обстоятельства:

- свойство системы не является простой суммой свойств, составляющих её элементы (МД МП РЛК  $\neq$  РЛМ-Д+РЛМ-М);

- свойства системы зависят от свойств составляющих её элементов (РЛМ-М, РЛМ-Д);

- объединённые в систему элементы, как правило, утрачивают часть своих свойств, присущих им вне системы. С другой стороны, элементы, попав в систему, могут приобрести новые свойства.

Указанное позволяет констатировать, что возможности каждого РЛМ (РЛМ-М, РЛМ-Д) вне системы могут быть выше по отдельным показателям, чем их возможности в составе системы (МД РЛК, МП РЛК, МД МП РЛК). МД РЛК, МП РЛК, МД МП РЛК имеют такие свойства или их значения, которые не имеют отдельно функционирующие РЛМ-М, РЛМ-Д. При объединении РЛМ в РЛК следует учитывать возникающие от объединения ограничения возможностей по отдельным показателям и учитывать это во временных диаграммах взаимодействия [1].

Кроме того, следует отметить, что сложным системам присуще скачкообразное изменение поведения при переходе из одного состояния в другое, изменение ее состояния происходит закономерно, новое состояние системы зависит от текущего состояния и от приложенных к системе внешних воздействий [8, С. 59].

Для сложной системы (МД МП РЛК), состоящей из МД РЛК1 в составе РЛМ-М1, РЛМ-Д1, и МД РЛК2 в составе РЛМ-М2, РЛМ-Д2, эмерджентность можно прокомментировать следующим образом:

- объединение РЛМ разных диапазонов (М, ДМ) на одной позиции для совместного получения и обработки информации позволяет совместить преимущества и частично компенсировать недостатки, присущие РЛМ метрового диапазона волн (большая дальность обнаружения, меньшее затухание в атмосфере, большая и более сглаженная диаграмма обратного вторичного излучения (ДОВИ), слабая чувствительность к технологии радиолокационной малозаметности «СТЕЛС», низкое энергопотребление, меньшая подверженность активным помехам с одной стороны, и ограничения по физическим размерам антенных систем подвижных РЛМ, влияние отражений от земли на форму диаграммы направленности антенной системы (ДН АС) и на обнаружение, невысокая разрешающая способность и точность определения угловых координат ( $\beta, \epsilon$ ), сложность измерения высоты, особенно маловысотных ВО, повышенное время развертывания АС, сложность в использовании широкополосных сигналов для снижения разрешающей способности по дальности, относительно низкие возможности по радиолокационному распознаванию классов на основе анализа сигнальных признаков с другой стороны), и РЛМ дециметрового (или сантиметрового) диапазона (высокая разрешающая способность и точность определения угловых координат ( $\beta, \epsilon$ ) при приемлемых размерах АС, возможность обнаружения маловысотных воздушных целей и измерение их высоты с достаточной точностью, слабое влияние отражений от земли на форму ДН АС, возможность применения широкополосных сигналов с шириной спектра до 100 МГц и более, что дает разрешающую способность по дальности при обработке в единицы метров и позволяет получать дальностные радиолокационные портреты и распознавать с достаточно высокой вероятностью различные по размерам объекты с одной стороны, и повышенная чувствительность к активным помехам, большая чувствительность к технологии радиолокационной малозаметности «СТЕЛС», меньшая и более изрезанная ДОВИ, большее затухание в атмосфере, более высокое энергопотребление с другой стороны и др.);

- объединение РЛМ одного диапазона на разнесенных позициях в МП РЛК позволяет сохранить дальность обнаружения в условиях радиоэлектронных помех (РЭП), а в некоторых случаях и повысить ее, существенно повысить эквивалентную разрешающую способность и снизить разрешаемый объем, повысить вероятность распознавания строив и классов ВО за счет добавления дополнительных признаков [4].

Для объединения РЛМ в МД и МП РЛК им необходимо иметь дополнительные свойства (иметь высокостабильные синхронизируемые задающие генераторы опорных частот для формирования высокочастотных сигналов передающих устройств и импульсов запуска, иметь в составе активную фазированную решетку (АФАР), иметь возможность высокоточного определения координат точек стояния каждого разнесенного РЛМ, иметь линию связи для обмена информацией между разнесенными позициями, иметь возможность обработки информации от разнесенных РЛМ, иметь специальное программное обеспечение, реализующее взаимную увязку по пространству и времени, виду сигнала и его несущей частоте);

- при объединении в МД или МП систему ведомый РЛМ теряет возможность самостоятельного поиска, обнаружения, завязки, сопровождения и распознавания ВО, так как работают в связке ведущий-ведомый. В тоже время ведущий РЛМ получает информацию лучшего качества и состава.

Ведомый РЛМ может иметь передающее устройство в состоянии отказ, что в общем случае повышает надежность МД МП РЛК за счет аппаратурной и энергетической избыточности.

В работе такие варианты не рассматриваются в связи с огромной инвариантностью подобных состояний частичной работоспособности АФАР и могут стать предметом отдельного исследования.

### Заключение

Таким образом, при объединении в МП систему разнесенных в пространстве МД РЛК появляется эмерджентность с присущими ей свойствами. При этом разработка новых алгоритмов обнаружения воздушных объектов приводит к четкому выполнению поставленных задач. Дальнейшее развитие данного направления остается на первом плане в развитии и совершенствовании обороны страны.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Маняшин А.В., Тюменский Индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.6.1>

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

Manyashin A.V., Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.6.1>

**Список литературы / References**

1. Аверьянов В.А. Разнесенные радиолокационные станции и системы / В.А. Аверьянов — М.: Наука и техника, 1978. — 184 с.
2. Бондаренко Б.Ф. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск / Б.Ф. Бондаренко — Киев: КВИРТУ ПВО, 1987. — 368 с.
3. Горелик А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипник — М.: Высш. шк., 2004. — 261 с.
4. Демьянов А.В. Анализ помехоустойчивости многопозиционной радиолокационной системы. / А.В. Демьянов // Научно-методический сборник; — Тверь: ВА ВКО, 2011. — с. 67-74.
5. Созонтов И.А. Исследования по разработке основ наземной навигации и общих взглядов на их реализацию в части воздушно-космической обороны / И.А. Созонтов и др.; рук. С. Б. Жиронкин. — Тверь: ВА ВКО, 2021. — 99 с.
6. Киселев В.Н. Некоторые итоги боевых действий в Сирии. / В.Н. Киселев // Армейский сборник. — 2016. — 7. — с. 189-196.
7. Колomoец Р. В. Многодиапазонный многопозиционный радиолокационный комплекс / Р.В. Колomoец // Научный форум: Инновационная наука. Сборник статей по материалам LV международной научно-практической конференции. — Москва, 2022. — № 9 (55). — с. 16-20
8. Круглов Е.В. Применение сил и средств РЕБ в войнах и конфликтах XXI века. / Е.В. Круглов // Зарубежное военное обозрение. — 2019. — 2. — с. 57-63.
9. Перспективы развития ударных средств воздушного нападения вооруженных сил США.— ГШ ВС РФ: ГРУ, 2006. — 27 с.
10. Рамбо Д. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. 2-е изд. / Д. Рамбо, М. Блаха — СПб: Питер, 2007. — 544 с.
11. Созонтов И.А. Использование апостериорной информации при реализации систем радиолокационного распознавания с применением нейросетевых технологий. / И.А. Созонтов, Д.Ф. Бескостый, С.Г. Боровиков и др. // Известия вузов России. Радиоэлектроника. — 2019. — № 22(5). — с. 52-60.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Aver'yanov V.A. Raznesenny'e radiolokacionny'e stancii i sistemy' [Diversity Radar Stations and Systems] / V.A. Aver'yanov — M.: Nauka i tehnika, 1978. — 184 p. [in Russian]
2. Bondarenko B.F. Osnovy' postroeniya radiolokacionny'x stancij radiotexnicheskix vojsk [Basics of Building Radar Stations of Radio Engineering Troops] / B.F. Bondarenko — Kiev: KVIRTU PVO, 1987. — 368 p. [in Russian]
3. Gorelik A.L. Metody' raspoznavaniya [Recognition Methods] / A.L. Gorelik, V.A. Skripnik — M.: Vyssh. shk., 2004. — 261 p. [in Russian]
4. Dem'yanov A.V. Analiz pomexoustojchivosti mnogopozicionnoj radiolokacionnoj sistemy' [Analysis of the Noise Immunity of a Multi-position Radar System]. / A.V. Dem'yanov // Scientific and Methodical Collection; — Tver': VA VKO, 2011. — p. 67-74. [in Russian]
5. Sozontov I.A. Issledovaniya po razrabotke osnov nazemnoy navigatsii i obshchikh vzglyadov na ikh realizatsiyu v chasti vozdushno-kosmicheskoy oborony [Research on the Development of the Basics of Ground Navigation and General Views on Their Implementation in Terms of Aerospace Defense] / I.A. Sozontov et al.; head S.B. Zhironkin. — Tver: VA VKO, 2021. — 99 p. [in Russian]
6. Kiselev V.N. Nekotory'e itogi boevy'x dejstvij v Sirii [Some Results of Hostilities in Syria]. / V.N. Kiselev // Armejskij sbornik [Army Compilation]. — 2016. — 7. — p. 189-196. [in Russian]
7. Kolomoets R. V. Mnogodiapazonnyy mnogopozitsionnyy radiolokatsionnyy kompleks [Multiband Multi-position Radar Complex] / R. V. Kolomoets // Nauchnyj forum: Innovacionnaya nauka. Sbornik statej po materialam LV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Scientific forum: Innovative Science. Collection of articles based on the materials of the LV International Scientific-Practical Conference]. — Moscow, 2022. — № 9 (55). — p. 16-20 [in Russian]
8. Kruglov E.V. Primenenie sil i sredstv RE'B v vojnax i konfliktax XXI veka [The Use of Forces and Means of Electronic Warfare in Wars and Conflicts of the XXI Century]. / E.V. Kruglov // Zarubezhnoe voennoe obozrenie [Foreign Military Review]. — 2019. — 2. — p. 57-63. [in Russian]
9. Perspektivi razvitiya udarnikh sredstv vozdushnogo napadeniya vooruzhennikh sil SShA [Prospects for the Development of Strike Means of Air Attack of the Armed Forces of the United States]. — GSh VS RF: GRU, 2006. — 27 p. [in Russian]
10. Rambo D. Ob'ektno-orientirovannoe modelirovanie i razrabotka. 2-e izd. [Object-Oriented Modeling and Development. 2nd ed.] / D. Rambo, M. Blaha — SPb: Piter, 2007. — 544 p. [in Russian]
11. Sozontov I.A. Ispol'zovanie aposteriornoj informacii pri realizacii sistem radiolokacionnogo raspoznavaniya s primeneniem nejrosetevy'x tehnologij [The Use of a Posteriori Information in the Implementation of Radar Recognition Systems Using Neural Network Technologies]. / I.A. Sozontov, D.F. Beskostyj, S.G. Borovikov et al. // Izvestiya vuzov Rossii. Radioelektronika [Proceedings of Russian Universities. Radio Electronics]. — 2019. — № 22(5). — p. 52-60. [in Russian]