

EDN: CKKXPE

УДК 621.396.96

Practical Application Recommendations of the Radar Grid Method of Collective Guidance and Guided Missile Targeting in The Interests of an Effective Attack on a Group Air Target

Igor V. Lutikov*

*Siberian Federal University
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 09.01.2025, received in revised form 19.01.2025, accepted 28.01.2025

Abstract. As is known, for modeling spatial and temporal parameters of the application of a multi-position system (MPS) The “pulse-Doppler onboard fighter radar – pulse-Doppler onboard radar of the missile seeker” of the air-based (for the purpose of subsequent effective counteraction to the group air target), appropriate dynamic models are used. An analysis of known methods for mathematically representing the dynamics of behavior of complex systems shows that the most convenient form of its representation is an oriented time graph of discrete states of the system (process). To explain the principle of practical application and the distinctive features of collective guidance and guided targeting (based on the analysis of the frequency deviation matrix) of the synthesized radar grid guidance method based on algorithms for optimal inter–position multi-channel processing of received signals, the article presents a dynamic model of the use of air-based MPS “pulse-Doppler onboard fighter radar – pulse-Doppler onboard radar of the missile seeker” in the interests of destroying the group air target in the form of discrete states graphs.

Keywords: group air target, collective guidance, target distribution, effective attack, managed target allocation, grid method, graphs, discrete states, dynamic model.

Citation: Lutikov I. V. Practical Application Recommendations of the Radar Grid Method of Collective Guidance and Guided Missile Targeting in The Interests of an Effective Attack on a Group Air Target. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2025, 18(2), 249–257. EDN: CKKXPE



Рекомендации по практическому применению радиолокационного сеточного метода коллективного наведения и управляемого целераспределения ракет в интересах эффективной атаки групповой воздушной цели

И. В. Лютиков

*Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, Красноярск*

Аннотация. Как известно, для моделирования пространственных и временных параметров применения многопозиционной системы (МПС) «ИД БРЛС истребителя – ИД ГСН ракет» воздушного базирования (с целью последующего эффективного противодействия ГВЦ) используются соответствующие динамические модели. Анализ известных способов математического представления динамики поведения сложных систем показывает, что наиболее удобной формой ее отображения является ориентированный временной граф дискретных состояний системы (процесса). Для пояснения принципа практического применения и отличительных особенностей коллективного наведения и управляемого целераспределения (на основе анализа матрицы девиаций частоты) синтезируемого радиолокационного сеточного метода наведения на основе алгоритмов оптимальной межпозиционной многоканальной обработки принимаемых сигналов в статье представлена динамическая модель применения МПС воздушного базирования «ИД БРЛС истребителя – ИД ГСН ракет» в интересах уничтожения ГВЦ в виде графов дискретных состояний.

Ключевые слова: групповая воздушная цель, коллективное наведение, целераспределение, эффективная атака, управляемое целераспределение, сеточный метод, графы, дискретные состояния, динамическая модель.

Цитирование: Лютиков И. В. Рекомендации по практическому применению радиолокационного сеточного метода коллективного наведения и управляемого целераспределения ракет в интересах эффективной атаки групповой воздушной цели / И. В. Лютиков // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2025, 18(2). С. 249–257. EDN: CKKXPE

Введение

Как известно, для моделирования пространственных и временных параметров применения многопозиционной системы (МПС) «ИД БРЛС истребителя – ИД ГСН ракет» [1–10, 16] воздушного базирования (с целью последующего эффективного противодействия ГВЦ) используются соответствующие динамические модели [17, 18, 20]. Такое моделирование позволяет сформировать наиболее полный перечень тактических и специфических элементов (объектов) обстановки, принимающих непосредственное участие в генерации и выполнении конкретной типовой задачи определенными исполнительными элементами МПС (совокупность функционально взаимосвязанных в единую систему летательных аппаратов (одного или нескольких) и специальных наземных технических средств, обеспечивающих целевое применение МПС в воздухе, а также осуществить ранжирование элементов ГВЦ по важности.

Весь процесс функционирования исследуемых динамических систем (сетей, подсистем, комплексов, процессов) может быть представлен в виде конечной совокупности дискретных состояний (графов). При этом переход из состояния в состояние происходит через случайные промежутки времени, которые в каждом конкретном случае могут быть определены исходя

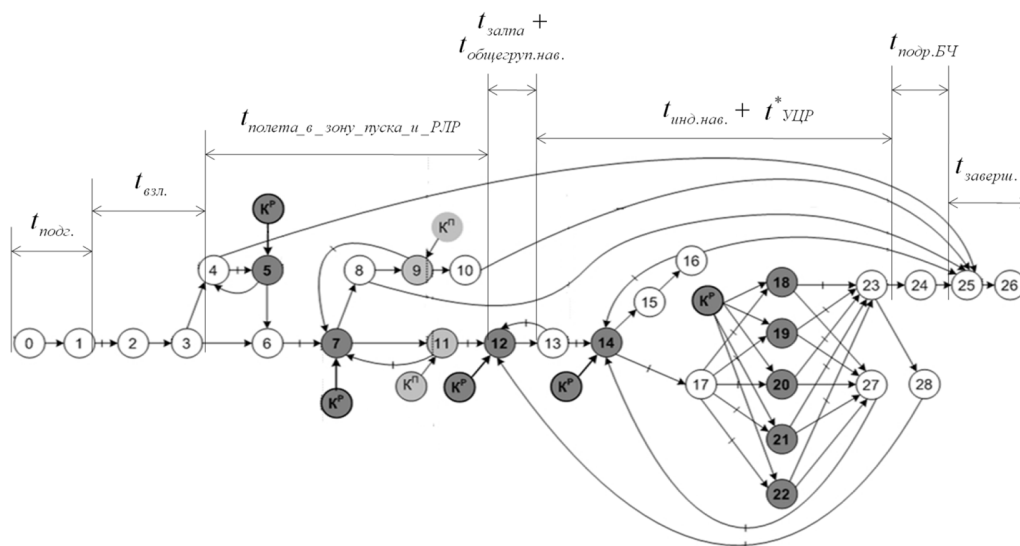


Рис. 1. Динамическая модель применения МПС воздушного базирования «ИД БРЛС истребителя – ИД ГСН ракет» в интересах уничтожения ГВЦ

Fig. 1. Dynamic model of the use of the air-based radar station “ID RADAR fighter – ID missile seeker” in the interests of destroying the GVC

из физических особенностей как видов воздействия на конкретные объекты исследуемой системы, так и процесса ее дезорганизации в целом.

Анализ известных способов математического представления динамики поведения сложных систем [11–19], имеющих такие особенности, показывает, что наиболее удобной формой ее отображения является ориентированный временной граф дискретных состояний системы (процесса).

Для пояснения принципа действия и отличительных особенностей управляемого целеразделения (на основе анализа матрицы девиаций частоты) синтезируемого в [20] радиолокационного сеточного метода наведения на основе алгоритмов оптимальной межпозиционной многоканальной обработки принимаемых сигналов представлена динамическая модель применения МПС воздушного базирования «ИД БРЛС истребителя – ИД ГСН ракет» как объекта исследования в интересах уничтожения ГВЦ (рис. 1) и представляет собой графы дискретных состояний с непрерывным временем и процедуры перехода между этими состояниями.

Для каждого временного отрезка подготовки, принятия решения о начале и завершении применения МПС, начала и окончания функционирования радиоэлектронных систем и средств МПС представлены графы, которые описывают возможные варианты развития исследуемых процессов. Выбор конкретного варианта зависит от степени готовности, состояния систем и путей протекания процессов на нижних уровнях. На графах обозначены «перечеркнутые» переходы, для которых длительность перехода зависит от эффективности внешнего радиоэлектронного воздействия (постановки помех). С использованием динамических моделей определяются: время начала и продолжительность типового эпизода (ситуации); циклы управления различными системами (подсистемами) МПС; уязвимые состояния, обусловленные внешними радиоэлектронным (K^P) и огневым ($K^П$) воздействиями.

В графах показан потенциал работы важных с позиции защиты от радиоэлектронного воздействия линий (каналов) управления, связи, передачи данных, аппаратуры потребителей (АП) СРНС и при необходимости оптико-электронных средств (ОЭС) разведки и в других диапазонах ЭМВ, размещенных на МПС воздушного базирования.

В динамической модели применения МПС (см. рис. 1) как объекта исследования представлены следующие этапы:

- подготовка к полету и взлет;
- съем координат на основе данных спутниковой радионавигационной системы (СРНС);
- корректировка местоположения;
- уточнение маршрута полета;
- вхождение в зону ведения радиолокационной разведки, зону пуска (залпа) ракет по ГВЦ для их дальнейшего наведения по разработанному в диссертации радиолокационному сеточному методу наведения;
 - ведение радиолокационной разведки и передачи данных потребителям (воздушные и наземные пункты управления (ВПУ, НПУ), головкам самонаведения ракет (ГСН)) в реальном масштабе времени по различным (выбранным – исправным, высокоскоростным) каналам;
 - полет ракет с ГСН на этапе дальнего наведения в упрежденную точку (УТ) по общегрупповым параметрам ГВЦ;
 - процедура управляемого целераспределения*, оптимальная по критерию максимума вероятности уничтожения всех элементов ГВЦ [20];
 - полет ракет с ГСН на этапе терминального индивидуального наведения ракет с ГСН на каждый элемент ГВЦ;
 - вывод ракет с ГСН в зону поражения для гарантированного уничтожения всех элементов ГВЦ путем подрыва БЧ каждой ракеты в пределах допустимого промаха $\Delta R_{\min} \leq \Delta R_0$ («промах в норме») [20];
 - завершение работы МПС.

В динамической модели представлены следующие пронумерованные дискретные состояния:

- 0 – многопозиционная система (объект исследования) готова к выполнению задач по основному назначению – уничтожению ГВЦ;
- 1 – получен приказ о начале действия МПС по уничтожению ГВЦ на основе априорной информации о ее обнаружении, полетное задание сформировано и введено в систему управления МПС, МПС готова к взлету;
- 2 – с НПУ в подсистему управления МПС поступила команда на взлет;
- 3 – произведен взлет МПС с аэродрома базирования для выполнения задач по основному назначению – уничтожению ГВЦ;
- 4 – маршрут и параметры полета МПС не соответствуют заданным;
- 5 – с НПУ произведена корректировка полета МПС в упрежденную точку (УТ) по маршруту движения ГВЦ методом параллельного сближения (при наличии априорной информации от передовых подразделений радиолокационной разведки РТВ);
- 6 – маршрут и параметры полета МПС соответствуют заданным;

7 – СРНС работает (не нарушена), на основе данных СРНС произведен съём координат МПС, корректировка её местоположения, уточнение маршрута её полета;

8 – работа СРНС нарушена, на основе данных инерциальной навигационной системы (ИНС) корректировка местоположения МПС, уточнение маршрута полета МПС относительно текущих координат (местоположения);

9 – МПС вошла в зону ведения радиолокационной разведки с ошибкой (целеуказания – ЦУ), определенной временем полета без СРНС (по ИНС, программе);

10 – работа СРНС не восстановлена, накоплена значительная ошибка определения координат (местоположения) МПС;

11 – МПС вошла в начало зоны ведения радиолокационной разведки (наблюдения) без ошибки для последующего залпа и вывода носимых ракет с ГСН на этап дальнего их наведения по общегрупповым параметрам ГВЦ в случае её обнаружения;

12 – ГВЦ обнаружена ИД БРЛС ведущего истребителя МПС с априорным количеством ее элементов N_{gvc} , с требуемым временем залпа осуществлен пуск N_r ракет с ГСН для их дальнего наведения методом параллельного сближения по общегрупповым параметрам в УТ по маршруту движения ГВЦ;

13 – группа ракет с ГСН навелась в УТ, в ведомых элементах МПС (ракетах с ИД ГСН) включен режим наведения на ГВЦ, ведется радиолокационная разведка маневрирующих целей (элементов ГВЦ) с изменяющейся доплеровской частотой (девиацией частоты) по маршруту их (ГВЦ) полета в заданной зоне (районе) (в ближней зоне до 10 км) на терминальном этапе индивидуального наведения на ГВЦ; в системе сбора, обработки и передачи информации МПС проведено когерентное накопление эхо-сигналов, их межпозиционная многоканальная обработка, обнаружение (архивация и т.д.) достаточного (максимального) объема полученных разведанных для последующей их передачи потребителям (ГСН ракет, ВПУ, НПУ) в реальном масштабе времени и записи (регистрации) на штатный носитель первичной и (или) вторичной информации;

14 – проведен поиск исправного высокоскоростного канала передачи данных потребителям (ГСН ракет, ВПУ, НПУ);

15 – каналы передачи данных с МПС потребителям (ГСН ракет, ВПУ, НПУ) неисправны, передача разведанных в реальном масштабе времени невозможна;

16 – разведывательная информация сохранена на штатный носитель информации («бортовой самописец») на ведущем истребителе МПС с целью накопления (архивирования и т.д.) и последующей доставки потребителям (НПУ) в виде файла (файлов);

17 – найден исправный канал (каналы) передачи данных с МПС потребителям (ГСН ракет, ВПУ, НПУ), система передачи данных МПС готова к передаче разведанных в реальном масштабе времени потребителям (ГСН ракет, ВПУ, НПУ);

18 – с МПС проведена передача информации (ретрансляция сигнала) потребителям (ГСН ракет, ВПУ, НПУ) по каналам авиационной связи;

19 – с МПС проведена передача информации (ретрансляция сигнала) через выносной терминал по каналу передачи данных LOS (Line-of-Sight – «прямой видимости»);

20 – с МПС проведена передача информации (ретрансляция сигнала) на выносной видео-терминал по каналу LOS (при наличии оптико-электронной системы наведения);

21 – с МПС проведена передача информации (ретрансляция сигнала) потребителям (ГСН ракет, ВПУ, НПУ) по каналу передачи данных LOS;

22 – с МПС проведена передача информации (ретрансляция сигнала) по дополнительным (перспективным) каналам BLOS (Beyond-Line-of-Sight – «вне прямой видимости»);

23 – разведывательная информация с МПС потребителям (ГСН ракет, ВПУ, НПУ) передана, срывов нет; данных, полученных с элементов МПС, достаточно для наведения на ГВЦ и ее уничтожения с требуемым качеством, время нахождения в заданной зоне (районе) радиолокационной разведки ГВЦ вышло, принято решение на апостериорное управляемое целераспределение* на основе анализа матрицы *CTDM* девиации частоты принимаемых от элементов ГВЦ эхо-сигналов [20];

24 – наведение назначенных ракет с ГСН на элементы ГВЦ с целью их полного уничтожения в соответствии с выбранным m -методом наведения с подрывом БЧ ракет, при обеспечении допустимого промаха $\Delta R_{\min} \leq \Delta R_0$ («промах в норме») [20].

25 – в систему управления МПС поступила «команда» (или запрограммировано) на окончание работы в заданной зоне (районе) и возвращение на «базу»;

26 – МПС закончила работу в заданной зоне (районе) и вернулась на «базу»;

27 – разведывательная информация с МПС потребителям (ГСН ракет, НПУ) не передана, или есть срывы в передаче данных (информация передана с ошибками);

28 – данных, полученных с МПС, недостаточно для выполнения боевой задачи по основному назначению – уничтожению ГВЦ, время нахождения в заданной зоне (районе) МПС не вышло.

Таким образом, в продолжение [21] для практической реализации в МПС «ведущий активный истребитель типа МиГ-31БМ – ведомый пассивный истребитель типа МиГ-31БМ – пассивные ИД ГСН ракет класса «воздух-воздух» синтезируемого в [20] радиолокационного сеточного метода коллективного наведения и управляемого целераспределения ракет в инте-



Рис. 2. Внешний вид индикатора истребителя типа МиГ-31БМ

Fig. 2. The appearance of the MiG-31BM fighter indicator

ресках эффективной атаки групповой воздушной цели предлагается внедрить на программно-аппаратном уровне соответствующий дополнительный многопозиционный режим работы по групповым воздушным целям.

Использование данного режима позволит отобразить на индикаторе командира и (или) штурмана ведущего истребителя типа МиГ-31БМ (рис. 2) признаки «Цель одиночная» и «Цель групповая. Количество целей в группе столько-то» по результатам первичной многоканальной согласованной обработки эхо-сигналов от элементов групповой воздушной цели, принимаемых МПС (ИД ГСН ракет на терминальном этапе их индивидуального наведения), за счет анализа девиации частоты [2, 3, 20] и таким образом улучшения разрешения МПС по данному параметру, что позволит осуществить непосредственно на самих наводимых ракетах управляемое целераспределение, исключит дублирование целераспределения, благоприятно скажется на увеличении вероятности поражения всех элементов групповой воздушной цели.

Список литературы / References

[1] Богданов А.В., Филонов А.А., Ковалев А.А., Кучин А.А., Лютиков И.В. *Методы самонаведения истребителей и ракет класса «воздух-воздух» на групповую воздушную цель*. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. [Bogdanov A. V., Filonov A. A., Kovalev A. A., Kuchin A. A., Lyutikov I. V. *Methods of homing fighters and air-to-air missiles at a group air target*. Krasnoyarsk, 2014 (In Rus.)]

[2] Лютиков И.В., Замараев В.В., Кучин А.А., Фомин А.Н., Богомолов Н.П., Копылов В.А. Алгоритм обнаружения сигналов, отраженных от интенсивно маневрирующих воздушных целей, для импульсно-доплеровской бортовой радиолокационной станции. *Успехи современной радиоэлектроники*, 2014, 5, 47–52 [Lyutikov I. V., Zamaraev V. V., Kuchin A. A., Fomin A. N., Bogomolov N. P., Kopylov V. A. An algorithm for detecting signals reflected from intensively maneuvering aerial targets for a pulse-Doppler airborne radar station. *Successes of modern radio electronics*, 2014, 5, 47–52(In Rus.)]

[3] Лютиков И.В., Замараев В.В., Кучин А.А., Фомин А.Н., Богомолов Н.П., Копылов В.А. Многоканальный алгоритм обнаружения интенсивно маневрирующих воздушных целей для импульсно-доплеровской бортовой радиолокационной станции, учитывающий априорную неопределённость частотной девиации сигнала. *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*, 2014, 7(8), 911–918 [Lyutikov I. V., Zamaraev V. V., Kuchin A. A., Fomin A. N., Bogomolov N. P., Kopylov V. A. A multichannel algorithm for detecting intensively maneuvering aerial targets for a pulse-Doppler airborne radar station, taking into account the a priori uncertainty of the frequency deviation of the signal. *Journal of the Siberian Federal University. Engineering and technology*, 2014, 7(8), 911–918 (In Rus.)].

[4] Богомолов Н.П., Сидоров В.Г., Шайдуров Г.Я., Лютиков И.В. Децентрализованная система траекторной обработки информации в многопозиционной радиолокационной системе с обратной связью. *Радиотехника*, 2013, 6, 43–45 [Bogomolov N. P., Sidorov V. G., Shaidurov G. Ya., Lyutikov I. V. A decentralized system of trajectory information processing in a multi-position radar system with feedback. Bogomolov N. P., Sidorov V. G., Shaidurov G. Ya., Lyutikov I. V. *Radio engineering*, 2013, 6, 43–45 (In Rus.)].

[5] Богданов А.В., Кучин А.А., Мещеряков В.Г., Филонов А.А., Лютиков И.В. Методы наведения летательных аппаратов на групповую воздушную цель в интересах построения радиоэлектронных систем управления с элементами поддержки решений лётчика. *Радиотехника*, 2013, 6, 65–69 [Bogdanov A. V., Kuchin A. A., Meshcheryakov V. G., Filonov A. A., Lyutikov I. V. Methods of aiming aircraft at a group aerial target in the interests of building electronic control systems with elements to support the pilot's decisions. *Radio engineering*, 2013, 6, 65–69 (In Rus.)].

[6] Замираев В.В., Кучин А.А., Лютиков И.В. Алгоритм комплексного оценивания угловой скорости вращения линии визирования в радиолокационной головке самонаведения ракеты, использующий информацию о частотной девиации сигнала. *Успехи современной радиоэлектроники*, 2012, 9, 107–110 [Zamaraev V. V., Kuchin A. A., Lyutikov I. V. An algorithm for complex estimation of the angular velocity of rotation of the line of sight in the radar homing head of a missile using information about the frequency deviation of the signal. *Successes of modern radio electronics*, 2012, 9, 107–110 (In Rus.)].

[7] Замираев В.В., Лютиков И.В. Алгоритм обнаружения воздушных целей на основе совместного отношения правдоподобия для двухпозиционного авиационного радиолокационного комплекса. *Радиотехника*, 2008, S 130, 77–83 [Zamaraev V. V., Lyutikov I. V. An algorithm for detecting aerial targets based on a joint likelihood ratio for a two-position aviation radar system. *Radio engineering*, 2008, S 130, 77–83 (In Rus.)].

[8] Канащенко А.И. и др. *Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения*. М.: ИПРЖР, 2002 [Kanashchenkov A. I. et al. *The appearance of promising airborne radar systems. Possibilities and limitations*. Moscow, 2002 (In Rus.)].

[9] Дудник П. И., Ильчук А. Р., Татарский Б. Г. (ред.) *Многофункциональные радиолокационные системы: учеб. пособие для вузов*. М.: Дрофа, 2007. 283 с. [Multifunctional radar systems: textbook. handbook for universities. P. I. Dudnik, A. R. Ilchuk, B. G. Tatarsky (ed.). Moscow, 2007. 283 p. (In Rus.)].

[10] Черных М.М., Богданов А.В., Буров А.С. и др. Анализ информационных свойств когерентных радиолокационных сигналов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение*, 1999, 4, 16–26 [Chernykh M. M., Bogdanov A. V., Burov A. S. et al. Analysis of information properties of coherent radar signals. *Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Instrument Engineering*, 1999, 4, 16–26 (In Rus.)].

[11] *Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник*. Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Я.Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с. [Radio electronic systems: Fundamentals of construction and theory. 2nd edition, Ed. by N. J. D. Shirman. Moscow: Radiotechnika, 2007. 512 p. (In Rus.)].

[12] Вентцель Е.С. *Теория вероятностей: учебник для студ. вузов*. 9-е изд., стер. М.: Академия, 2003. 576 с. [Ventzel E. S. *Probability theory*. 9th ed. Moscow, 2003. 576 p. (In Rus.)].

[13] Рубан А.И. *Методы оптимизации: учеб. пособие*. 3-е изд., испр. и доп. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. 528 с. [Ruban A. I. *Optimization methods*. 3rd ed. Krasnoyarsk, 2004. 528 p. (In Rus.)] ISBN 5–7636–0680–9

[14] Пантелеев А. В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах: учеб. пособие. 2-е изд., исправл. М.: Высш. шк., 2005. 544 с. [Panteleev A. V., Letova T. A. *Optimization methods in examples and tasks*. 2nd ed. Moscow, 2005. 544 p. (In Rus.)] ISBN 5–06–004137–9

[15] Вексин С.И. *Обработка радиолокационных сигналов в доплеровских головках самонаведения*. М.: Изд-во МАИ, 2005. 244 с. [Veksin S.I. *Processing of radar signals in Doppler homing heads*. Moscow, 2005. 244 p. (In Rus.)]

[16] *Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра: монография*. Под ред. Е. А. Федосова. М.: Дрофа, 2004 [Russian air defense aviation and scientific and technological progress: combat complexes and systems of yesterday, today, tomorrow. Ed. by E. A. Fedosov. Moscow, 2004 (In Rus.)].

[17] Ярлыков М.С., Богачев А.С., Меркулов В.И., Дрогалин В.В. *Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Т. 1. Теоретические основы*. под ред. М.С. Ярлыкова. М.: Радиотехника, 2012 [Labels M. S., Bogachev A. S., Merkulov V. I., Drogalin V. V. *Radio-electronic complexes for navigation, aiming and armament control of aircraft. Vol. 1. Theoretical foundations*. Ed. by M. S. Labels. Moscow, 2012.

[18] Иванов Д.Я. Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2011, 116(3) [Ivanov D. Ya. Swarm intelligence methods for controlling groups of small-sized unmanned aerial vehicles. *Izvestia of the Southern Federal University. Technical sciences*, 2011, 116(3) (In Rus.)]

[19] Аккубеков П.А., Павлович А.В. *Модель противодействия малоразмерным беспилотным летательным аппаратам, направленного на защиту от их несанкционированного проникновения на территорию воинских частей и организаций (учреждений)*. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» [Akkubekov P. A., Pavlovich A. V. *A model of countering small-sized unmanned aerial vehicles aimed at protecting them from unauthorized entry into the territory of military units and organizations (institutions)*. The Military Training and Research Center of the Air Force named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin (In Rus.)].

[20] Лютиков И.В., Замараев В.В., Шайдуров Г.Я., Копылов В.А. Сеточный метод коллективного наведения и управляемого целераспределения группы ракет на основе анализа девиации частоты принимаемого головками самонаведения сигнала в интересах эффективной атаки групповой воздушной цели. *Journal of the Siberian Federal University. Engineering and technology*, 2015, 8(8), 1103–1116 [Lyutikov I. V., Zamaraev V. V., Shaidurov G. Ya., Kopylov V. A. Grid method of collective guidance and guided targeting of a group of missiles based on the analysis of frequency deviation of the signal received by the homing heads in the interests of an effective attack on a group air target. *Journal of the Siberian Federal University. Engineering and technology*, 2015, 8(8), 1103–1116 (In Rus.)]

[21] Лютиков И.В. Спец. тема. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тверь, 2008, 173 с. [Lyutikov I. V. Special topic. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Tver, 2008, 173 p. (In Rus.)]