



УДК 623.4
ГРНТИ 78.25.31

МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МАРШРУТНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ОГНЕВОГО И РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОРАЖЕНИЯ

А.С. ВАСИЛЬЧЕНКО

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В статье представлен анализ предметной области в вопросах повышения устойчивости маршрутного управления беспилотным летательным аппаратом в условиях воздействия деструктивных факторов. Предложен один из возможных вариантов решения задачи повышения устойчивости маршрутного управления беспилотным летательным аппаратом в условиях применения средств противовоздушной обороны и радиоэлектронного подавления. Данный вариант предполагает разработку методик, позволяющих производить взаимоувязанный совместный учет вероятности поражения беспилотного летательного аппарата средствами противовоздушной обороны и подавления его командной радиолинии управления средствами радиоэлектронного подавления противника, а также учет возможности маневра маршрутом беспилотного летательного аппарата для обхода зон тактического преимущества противника при выполнении задач воздушной разведки.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, противовоздушная оборона, радиоэлектронное подавление, устойчивость маршрутного управления, командная радиолиния управления, зоны противодействия полету, маршрутное управление.

UNMANNED AERIAL VEHICLE ROUTE CONTROL STABILITY INCREASING METHODS UNDER CONDITIONS OF FIRE DAMAGE MEANS AND RADIOELECTRONIC WEAPONS APPLICATION

A.S. VASILCHENKO

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

The article presents an analysis of the subject area in improving a route control stability of an unmanned aerial vehicle under the influence of destructive factors. One of the possible solutions to the problem of increasing the unmanned aerial vehicle route control stability in the conditions of air defense and radioelectronic suppression is proposed. This option involves the development of methods to produce a coherent joint probability of defeat unmanned aircraft in air defense and the suppression of his command radio control by means of the enemy radioelectronic suppression, and the unmanned aircraft maneuver route possibility to bypass zones the tactical advantage of the enemy in the aerial reconnaissance tasks.

Keywords: unmanned aerial vehicle, air defense, radioelectronic suppression, route control stability, command radio control line, anti-flight zones, route control.

Введение. Анализ работ в области применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) малого и среднего класса в последних локальных военных конфликтах позволил обобщить опыт их применения. Данный анализ показал, что беспилотные летательные аппараты



преимущественно применяются для решения задач разведывательно-информационного обеспечения. На БЛА возлагаются основные задачи воздушной разведки в тех районах, где применение пилотируемой авиации неоправданно или нецелесообразно, ввиду высокой вероятности поражения пилотируемых летательных аппаратов. Разведывательно-информационное обеспечение боевых действий и органов военного управления, а также решение задач управления БЛА возлагается на пункты управления (ПУ).

В настоящее время, большинство задач управления беспилотными летательными аппаратами, ввиду их высокой сложности и многофакторности, автоматизированы. Для управления БЛА, как правило, используется автоматизированная система управления, функционирующая под контролем человека-оператора. Оператор беспилотного летательного аппарата и автоматизированной системы управления размещается на ПУ и обеспечивает решение задач управления БЛА. Управляющая роль ПУ сводится к периодической передаче на борт управляемых беспилотных летательных аппаратов корректирующих команд или передаче команд на изменение маршрута при наведении на новые объекты, а также при выявлении опасных зон, обусловленных обнаружением системами противовоздушной обороны (ПВО) или средствами радиоэлектронного подавления (РЭП) противника.

Актуальность. Необходимо отметить, что современные беспилотные летательные аппараты не обладают высокой устойчивостью следования по маршруту в условиях потери связи с ПУ или в режиме «радиомолчания». Это предопределяет необходимость постоянного сопровождения полета БЛА путем передачи ему команд с ПУ. Кроме того, низкий уровень автоматизации действий бортовой системы управления беспилотного летательного аппарата, отсутствие у нее возможности самостоятельно принимать адекватные решения по информации, поступающей от бортовых датчиков в сложных ситуациях требуют постоянного контроля полета БЛА со стороны человека-оператора.

В настоящее время задачи противодействия БЛА в особо контролируемых зонах существенно актуализировались. При этом, если на начальном этапе самого появления этой задачи (в начале 2000-х гг.) противодействие БЛА решалось исключительно средствами противовоздушной обороны, то в настоящее время специалисты осознали, что прямое отражение массированного налета БЛА дорогостоящими средствами поражения (ракетами и снарядами) зенитно-ракетных комплексов (ЗРК) ПВО ведет к быстрому исчерпыванию их боевого ресурса и последующей неспособности отразить удар уже пилотируемой армейской авиации, а также крылатых ракет высокоточного оружия. В связи с этим, в настоящее время потенциальным противником рассматриваются дополнительные способы противодействия БЛА, в том числе такие как применение средств радиоэлектронного подавления, а также оружия направленного излучения энергии – лазерного оружия. При этом, если применение лазерного оружия является еще относительно экспериментальной технологией, то способы противодействия БЛА на основе совместного использования комплексов РЭП и ЗРК уже активно используются в практике локальных боевых действий [1].

Основную опасность со стороны средств огневого поражения для БЛА представляют ЗРК Patriot PAC-3, ЗРК M1097 Avenger и зенитно-артиллерийская система Centurion C-RAM. Будучи объединенные в единую много эшелонированную систему ПВО они способны обнаруживать БЛА на дальностях от 70 км (малоразмерные БЛА с эффективной площадью рассеивания 0,1 м²) до 100 км (средние БЛА с эффективной площадью рассеивания 0,5 м²) и осуществлять их поражение ракетами MIM-104 и FIM-92 Stinger на дальностях 0,5–80 км и в диапазоне высот 0,5–15 км, при этом зенитно-артиллерийская система способна за счет использования артиллерийского вооружения перекрыть «мёртвую зону» и обеспечить поражение малоразмерных и низколетящих БЛА на круговой дальности до 1,47 км [2].

Основную опасность со стороны средств РЭП для беспилотных летательных аппаратов представляют современные и перспективные комплексы РЭП, стоящие на вооружении батальонов разведки и радиоэлектронной борьбы сухопутных войск США и стран НАТО. Так,



например, рота сбора данных и радиоэлектронного подавления служит для выявления и подавления помехами радиоэлектронных станций и радиосвязи тактического звена. Ее взвод оснащены средствами радио и радиотехнической разведки (РПТР) и станциями радиопомех. В ее составе имеются: комплекс радиоразведки КВ/УКВ радиосвязи TSQ-114А; комплекс радиотехнической разведки типа MSQ-103А; по 3 наземных станции радиопомех УКВ радиосвязи MLQ-34, КВ/УКВ радиосвязи TLQ-7А и VLQ-4. Кроме того, в составе роты может быть 3 вертолета EH-60А со станциями помех КВ/УКВ радиосвязи ALQ-151 Quick Fix II и станциями ALQ-143 предназначенными для радиотехнической разведки и постановки помех радиоэлектронным станциям. Вертолеты EH-60А имеются также в составе бригад армейской авиации. Так, в тяжелой дивизии США имеется 12 вертолетов радиоэлектронной борьбы EH-60А [3]. Данные комплексы позволяют определять местоположение БЛА и ПУ, как абонентов системы управления, а также вскрывать сигнально-частотные параметры командной радиолинии управления (КРУ) БЛА в диапазонах 1,5–3000 МГц на дальностях до 25 км – наземными средствами РПТР и до 120 км – воздушными средствами РПТР. После вскрытия сигнально-частотных и пространственных параметров КРУ БЛА вышеуказанные комплексы могут осуществлять постановку помех КРУ в диапазонах 1,5–2500 МГц на дальностях до 25 км – наземными средствами РЭП и до 60 км – воздушными средствами РЭП.

Методики обоснования способов повышения устойчивости маршрутного управления беспилотным летательным аппаратом в условиях совместного применения противником средств противовоздушной обороны и радиоэлектронного подавления.

Учитывая специфику применения средств ПВО и РЭП, а также обобщая вышеуказанное, можно сформулировать противоречие в практике между необходимостью устойчивого управления БЛА в условиях совместного применения противником средств ПВО и РЭП и нарушением процесса управления БЛА на маршрутах в зоне действия средств ПВО и РЭП противника.

Целью данной работы является анализ известных решений в области обеспечения устойчивости маршрутного управления беспилотными летательными аппаратами в условиях воздействия средств ПВО и РЭБ противника, выработка предложений по возможным вариантам решения задачи повышения устойчивости маршрутного управления БЛА в условиях совместного применения противником средств ПВО и РЭП.

Общим проблемам управления авиацией посвящены работы научных школ академика РАН Е.А. Федосова и члена-корреспондента РАН, генерального конструктора РФ по системам и комплексам разведки, дозора и управления авиационного базирования и комплексам с беспилотными летательными аппаратами В.С. Вербы. Основам организации радиоуправления ЛА и БЛА посвящены работы научной школы В.И. Меркулова. При этом, в работах К.Л. Войткевича, А.А. Сулиммы, П.А. Зац [4], С.И. Макаренко [5], В.И. Меркулова и В.П. Харькова [6] отмечается тенденция развития систем управления ЛА и БЛА к переходу их на сетевые принципы обеспечения информацией. Реализация данного сетецентрического принципа при управлении силами и средствами представлена в работах В.С. Вербы, С.С. Поливанова [7], Е.А. Кондратьева [8], С.И. Макаренко, М.С. Иванова [2]. Вопросы организации связи при реализации командного радиоуправления БЛА рассмотрены в работах В.С. Вербы, В.И. Меркулова [9–11], С.И. Макаренко [5]. Управление и применение БЛА, в том числе и в условиях боевых действий подробно рассмотрены в работах Г.П. Дремлюги, О.А. Завьялова [12], Г.А. Мазулина [1], В.В. Ростопчина [13]. Опыт реального боевого применения БЛА, а также мнение ведущих специалистов по радиоуправлению В.С. Вербы и В.И. Меркулова [10, 11, 14] показывают, что для управления БЛА первостепенное значение имеет обеспечение непрерывной устойчивой связи с ними, а также обход управляемыми БЛА районов тактического преимущества противника – зон ПВО и РЭП.

Вопросы оценки уязвимости БЛА к воздействию боевых факторов, в том числе – анализ использования против БЛА средств ПВО и РЭП, подробно рассматриваются в работах



В.В. Ростопчина [13], В.О. Егурнова, В.В. Ильина, М.И. Некрасова, В.Г. Сосунова [15], О.Л. Арапова, Ю.С. Зуева [16], Н.В. Рощиной [17]. Анализ данных работ показывает, что проблематика оценки уязвимости БЛА к воздействию боевых факторов ПВО и РЭП является чрезвычайно актуальной и относительно новой, что подтверждается тем, что первые теоретические работы в этой области относятся к периоду не ранее 2012 года.

Необходимо отметить, что в подавляющем числе вышеуказанных работ живучесть БЛА в условиях применения по ним ЗРК ПВО и помехоустойчивость КРУ БЛА в условиях применения средств РЭП рассматриваются без учета возможностей пространственного маневра БЛА с целью обхода зон ПВО и РЭП. В данных работах не рассматриваются, а в существующих комплексах управления БЛА не учитываются, возможности по заблаговременному формированию «бесполетных» зон, в которых вероятность поражения средствами ЗРК ПВО выше безопасного значения, а также формирования таких маршрутов полета БЛА, которые обеспечивают требуемый уровень устойчивости управления по КРУ «ПУ – БЛА» в том числе в условиях воздействия средств РЭП.

Необходимо отметить, что общий подход к маршрутному управлению БЛА с обходом опасных зон и препятствий, впервые изложен в работах А.Н. Попова, Д.П. Тетерина [18], В.Н. Ефанова, Л.М. Неугодниковой [19], А.Н. Козуба, Д.П. Кучерова [20], Г.Н. Лебедева, Л.А. Мирзоян, А.В. Ефимов [21], Г.Н. Лебедева, В.И. Гончаренко, О.Ю. Царевой, Д.А. Михайлина [22], Л. Тань [23], К.К. Гэн [24]. В данных работах рассматриваются вопросы формирования маршрутов полета БЛА, в том числе с облетом препятствий, а также с учетом различного рода дестабилизирующих факторов, таких как неровности поверхности Земли, боковой ветер, условия городской застройки. Однако во всех вышеуказанных работах, за исключением работы [18], в качестве препятствий не рассматривались зоны противодействия полету БЛА со стороны противника. При этом задача формирования маршрута БЛА в обход зон противодействия противника в работе [18] ставится не как задача маршрутизации, а как задача численного приближенного решения динамической системы дифференциальных уравнений, описывающих пространственное движение БЛА, при этом специфика средств ПВО и РЭП в этой работе не рассматривается.

Таким образом, обобщая вышесказанное, можно сформулировать противоречие в науке между необходимостью обеспечения устойчивого управления беспилотным летательным аппаратом на маршрутах полета в зоне действия средств противовоздушной обороны и радиоэлектронного подавления противника и невозможностью решения данной задачи на основе современного уровня развития научно-методического аппарата управления беспилотным летательным аппаратом.

Для преодоления данного противоречия предлагается определять «бесполетные» зоны методами теории кластеризации и формировать маршруты полета БЛА методами теории дискретной математики – теории графов. При формировании таких «бесполетных» зон и маршрутов полета предлагается сосредоточить внимание на решении задач маршрутного управления БЛА, используя в качестве исходных данных результаты известных работ в области оценки живучести БЛА в условиях применения против них ЗРК ПВО [13, 16], а также результаты известных работ в области оценки помехозащищенности авиационных систем радиосвязи [13, 25, 26].

В основе решения задачи формирования «бесполетных» зон, в которых достигается тактическое преимущество противника – зон ПВО и РЭП, предлагается использовать подходы из области связи, изложенные в работах [27, 28], посвященные применению методов иерархической кластеризации и классификации в телекоммуникационных протоколах. А в основе решения задачи формирования множества маршрутов, проходящих в обход «бесполетных» зон, и обеспечивающих устойчивость управления по КРУ «ПУ – БЛА», предлагается использовать подходы, изложенные в работах [29, 30], посвященные совершенствованию протоколов маршрутизации в телекоммуникационных сетях.



Для разрешения сформулированного противоречия в науке и решения задачи обеспечения устойчивости маршрутного управления БЛА в условиях применения средств ПВО и РЭП, за счет определения «бесполетных» зон и формирования множества маршрутов полета БЛА, проходящих в обход «бесполетных» зон, необходимо решить научную задачу разработки методик повышения устойчивости маршрутного управления БЛА в условиях применения средств противовоздушной обороны и радиоэлектронного подавления.

При этом в качестве объекта исследования необходимо рассматривать маршрутное управление беспилотным летательным аппаратом, а предметом исследования будет являться устойчивость маршрутного управления беспилотным летательным аппаратом в условиях применения средств ПВО и РЭП.

Постановка научной задачи может быть сформулирована следующим образом – повышение устойчивости управления беспилотным летательным аппаратом по показателю вероятности устойчивости маршрутного управления (P_y) на множестве формируемых системой управления БЛА маршрутов (R) при решении задач воздушной разведки, при этом показатель вероятности устойчивости управления будет являться сверткой показателей вероятности подавления КРУ БЛА ($P_{под}$) в условиях воздействия средств РЭП и вероятности поражения БЛА средствами ПВО ($P_{пор}$) по всем контрольным точкам маршрута r входящего в множество допустимых маршрутов $r \in R$.

Для решения общей научной задачи в интересах достижения поставленной цели, необходимо произвести её декомпозицию на частные научные задачи:

- 1) разработка методики кластеризации полетных зон БЛА по степени устойчивости управления;
- 2) разработка методики формирования маршрутов полета БЛА с учетом месторасположения средств ПВО и РЭП;
- 3) разработка методики оценивания устойчивости маршрутного управления БЛА в условиях применения средств ПВО и РЭП.

Методика кластеризации полетных зон беспилотного летательного аппарата по степени устойчивости управления должна позволить автоматически на основе геотопологической модели зоны полетов БЛА и известном местоположении комплексов РЭП и ЗРК ПВО формировать «бесполетные» зоны, в которых высока вероятность поражения БЛА и зоны нарушения управления вследствие воздействия средств РЭП.

Элементами новизны данной методики, отличающих ее от результатов известных работ в области формирования маршрутов полета БЛА [10, 11, 14, 17–24], а также известных работ в области кластеризации [27, 28], будет являться учет в качестве препятствий для полета БЛА двух типов дестабилизирующих воздействий – воздействия средств ПВО и воздействия средств РЭП в виде интегральной метрики узлов графа геотопологической модели зоны полетов. При этом для формирования «бесполетных» зон, в которых высока вероятность поражения БЛА, и зон нарушения управления вследствие воздействия средств РЭП на КРУ БЛА, предлагается использовать математический алгоритм иерархической кластеризации Ланса-Вильямса, а проверку связности маршрутной сети производить на основе метода определения сильно связанных областей графа.

Методика формирования маршрутов полета БЛА с учетом месторасположения средств ПВО и РЭП должна позволить автоматически на основе геотопологической модели зоны полетов БЛА и известных «бесполетных» зон, в которых высока вероятность поражения БЛА средствами ПВО, формировать множество маршрутов полета БЛА с ранжированием маршрутов по степени устойчивости управления, тем самым учитывая фактор потенциальной потери управления при воздействии на КРУ БЛА средств РЭП. При этом зоны ПВО должны полностью исключаться из рассмотрения при формировании маршрутов БЛА путем усечения графа геотопологической модели зоны полетов, а зоны РЭП будут использоваться для формирования маршрутов, но при этом необходимо выбирать такой маршрут полета БЛА, на котором суммарное значение



вероятности подавления КРУ будет минимальным. Таким образом, этот маршрут будет соответствовать пути полета с максимальной устойчивостью управления беспилотным летательным аппаратом.

Новизна данной методики, которая отличает ее как от известного алгоритма Дейкстры, так и от других теоретических решений в области формирования маршрутов полета БЛА с обходом препятствий и опасных зон [16, 18–24, 29, 30], заключается в том, что в ее состав предполагается ввести дополнительные операции, позволяющие формировать помимо кратчайшего маршрута, также и упорядоченное множество дополнительных маршрутов полета, которые должны формироваться в обход зон ПВО и ранжироваться по уровню устойчивости управления БЛА на маршруте. Сформированные маршруты, в свою очередь, оцениваются вновь введенным показателем качества маршрута – суммарной вероятностью подавления КРУ БЛА на маршруте.

Методика оценивания устойчивости маршрутного управления БЛА в условиях применения средств ПВО и РЭП должна производить оценку различных вариантов маршрутов БЛА по показателю вероятности устойчивости маршрутного управления БЛА с учетом применения противником средств ПВО и РЭП.

Элементами новизны данной методики, которые отличают ее от других решений в области оценки качества маршрутов полета ЛА и БЛА [10, 11, 13–17], будет являться то, что в составе методики, во-первых, будут учтены показатели снижения устойчивости управления беспилотным летательным аппаратом в зонах применения средств ПВО и РЭП путем установления вероятности поражения БЛА средствами ПВО и вероятности подавления КРУ БЛА для каждой контрольной и узловой точки маршрута полета, во-вторых, в составе расчетных соотношений методики будет возможность формирования не одного маршрута полета БЛА, а нескольких маршрутов, которые будут сформированы в соответствии с методикой формирования маршрутов полета беспилотного летательного аппарата с учетом месторасположения средств ПВО и РЭП, при этом предполагается возможность перехода БЛА с основного на один из дополнительных маршрутов при обнаружении новых зон противодействия противника.

Выводы. Анализ известных решений в области повышения устойчивости маршрутного управления беспилотным летательным аппаратом в условиях применения средств противовоздушной обороны и радиоэлектронного подавления показал, что в настоящее время задача формирования маршрутов полета БЛА в обход зон противодействия противника с учетом специфики применения средств ПВО и РЭП является актуальной.

Для повышения устойчивости маршрутного управления беспилотным летательным аппаратом в условиях совместного применения противником средств противовоздушной обороны и радиоэлектронного подавления предлагается производить взаимоувязанный совместный учет вероятности поражения БЛА средствами ПВО и подавления его КРУ средствами РЭП, а также учет возможности маневра маршрутом БЛА для обхода зон тактического преимущества противника при выполнении задачи воздушной разведки.

Для решения этой задачи предлагается разработать методики повышения устойчивости маршрутного управления беспилотным летательным аппаратом в условиях применения средств РЭП и ПВО. Повышение устойчивости маршрутного управления будет осуществляться путем кластеризации зон полетов БЛА на зоны воздействия средств ПВО и РЭП с последующим исключением зон ПВО из рассмотрения. При этом на оставшемся множестве узлов геотопологической модели будут формироваться основной и дополнительные маршруты полета с ранжированием по степени устойчивости управления беспилотным летательным аппаратом в условиях РЭП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазулин Г.А. Использование беспилотных летательных аппаратов Министерства обороны ВС РФ в Сирии // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. 2017. № 2 (11). С. 43–50.



2. Макаренко С.И., Иванов М.С. Сетецентрическая война – принципы, технологии, примеры и перспективы: Монография. СПб.: Научно-технические технологии, 2018. 898 с.
3. Макаренко С.И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века: Монография. СПб.: Научно-технические технологии, 2017. 546 с.
4. Войткевич К.Л., Сулима А.А., Зац П.А. Проблемы построения канала управления беспилотными летательными аппаратами на основе ДКМВ-радиолинии // Электросвязь. 2014. № 7. С. 9–11.
5. Макаренко С.И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 73–132.
6. Меркулов В.И., Харьков В.П. Оптимизация иерархического управления группой БЛА // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 8. С. 61–67.
7. Верба В.С., Поливанов С.С. Организация информационного обмена в сетевых боевых операциях // Радиотехника. 2009. № 8. С. 57–62.
8. Кондратьев А.Е. Общая характеристика сетевых архитектур, применяемых при реализации перспективных сетевых концепций ведущих зарубежных стран // Военная мысль. 2008. № 12. С. 63–74.
9. Верба В.С., Меркулов В.И. Теоретические и прикладные проблемы разработки систем радиоуправления нового поколения // Радиотехника. 2014. № 5. С. 39–44.
10. Авиационные системы радиоуправления: учебник для военных и гражданских ВУЗов и научно-исследовательских организаций / В.И. Меркулов, В.С. Чернов, В.А. Гандурин, В.В. Дрогалин, А.Н. Савельев. Под ред. В.И. Меркулова. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2008. 423 с.
11. Авиационные системы радиоуправления. Т. 3. Системы командного радиоуправления. Автономные и комбинированные системы наведения / В.И. Меркулов, А.И. Канащенков, В.С. Чернов, В.В. Дрогалин, В.Н. Антипов, Г.В. Анцев, В.С. Кулабухов, В.Н. Лепин, В.А. Сарычев, В.Н. Саблин, О.Ф. Самарин, В.А. Тупиков, Л.С. Турецкий, В.П. Харьков. Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
12. Дремлюга Г.П., Завьялова О.А. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов в боевых операциях // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. 2016. № 3 (8). С. 67–73.
13. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния / В.В. Ростопчин. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye_letatelnye_apparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_-_problemy_i_perspektivy_protivostoania. (дата обращения 20.05.2019).
14. Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования: Монография. М.: Радиотехника, 2014. 528 с.
15. Анализ способов противодействия беспилотным летательным аппаратам для обеспечения безопасности защищаемых объектов / В.О. Егурнов, В.В. Ильин, М.И. Некрасов, В.Г. Сосунов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 1–2 (115–116). С. 51–58.
16. Арапов О.Л., Зуев Ю.С. Повышение вероятности преодоления летательным аппаратом средств противовоздушной обороны // Вестник Концерна ПВО Алмаз-Антей. 2014. № 1 (11). С. 57–60.
17. Рощина Н. В. Системы и средства управления беспилотных летательных аппаратов как объект их поражения // Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны. 2019. № 1 (4). С. 68–74.



18. Попов А.Н., Тетерин Д.П. Методы планирования траектории движения беспилотного летательного аппарата с учетом противодействия противника // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 1–2. С. 371–376.
19. Ефанов В. Н., Неугодникова Л.М. Программный комплекс информационной поддержки принятия решений при оценке типовых траекторий полета // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2009. № 6 (64). С. 38–43.
20. Козуб А. Н., Кучеров Д.П. Интеграционный подход к задаче выбора маршрута группы БПЛА // Искусственный интеллект. 2013. № 4. С. 333–343.
21. Лебедев Г.Н., Мирзоян Л.А., Ефимов А.В. Выбор многоальтернативных маршрутов полета беспилотного летательного аппарата при наблюдении трассы и наземных точечных объектов на этапе планирования полета // Труды МАИ. 2011. № 48. С. 1–11.
22. Выбор множества приоритетных наземных объектов наблюдения с помощью беспилотных летательных аппаратов и маршрутизация их полета / Г.Н. Лебедев, В.И. Гончаренко, О.Ю. Царева, Д.А. Михайлин // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2019. № 2 (176). С. 3–12.
23. Тань Л. Планирование маршрута полёта беспилотного летательного аппарата на основе метода частично-целочисленного линейного программирования: дис. ... кандидата технических наук. М.: Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана, 2016.
24. Гэн К.К. Автономная система управления полетом квадрокоптера с возможностью облета препятствий и комплексной навигацией: дис. ... кандидата технических наук. М.: Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана, 2017.
25. Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты: Монография. СПб.: Свое издательство, 2013. 166 с.
26. Оценка эффективности системы передачи сигналов управления в каналах связи с задержкой / В.А. Васильев, П.А. Федюнин, М.А. Данилин, А.В. Васильев // Информатика: проблемы, методология, технологии. Сборник материалов XIX международной научно-методической конференции / под ред. Д.Н. Борисова. Воронеж, 2019. С. 249–254.
27. Макаренко С.И. Обеспечение устойчивости телекоммуникационной сети за счет ее иерархической кластеризации на области маршрутизации // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 4. С. 54–67.
28. Макаренко С.И. Локализация областей воздействия дестабилизирующих факторов в сети связи на основе алгоритма иерархической кластеризации Ланса-Вильямса // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 4. С. 70–77.
29. Макаренко С.И. Метод обеспечения устойчивости телекоммуникационной сети за счет использования ее топологической избыточности // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 3. С. 14–30.
30. Цветков К.Ю., Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Формирование резервных путей на основе алгоритма Дейкстры в целях повышения устойчивости информационно-телекоммуникационных сетей // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2. С. 71–78.

REFERENCES

1. Mazulin G.A. Ispol'zovanie bespilotnyh letatel'nyh apparatov ministerstva oborony Vooruzhennyh sil RF v Sirii // Problemy razvitiya korabel'nogo vooruzheniya i sudovogo radio`elektronnogo oborudovaniya. 2017. № 2 (11). pp. 43–50.
2. Makarenko S.I., Ivanov M.S. Setecentricheskaya vojna – principy, tehnologii, primery i perspektivy: Monografiya. SPb.: Naukoemkie tehnologii, 2018. 898 p.



3. Makarenko S.I. Informacionnoe protivoborstvo i radio`elektronnaya bor'ba v setecentricheskikh voynah nachala XXI veka: Monografiya. SPb.: Naukoemkie tehnologii, 2017. 546 p.
4. Vojtkevich K.L., Sulima A.A., Zac P.A. Problemy postroeniya kanala upravleniya bespilotnymi letatel'nymi apparatami na osnove DKMV-radiolinii // `Elektrosvyaz'. 2014. № 7. pp. 9–11.
5. Makarenko S.I. Robototekhnicheskie komplekсы voennogo naznacheniya – sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. 2016. № 2. pp. 73–132.
6. Merkulov V.I., Har'kov V.P. Optimizatsiya ierarhicheskogo upravleniya gruppoj BLA // Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayuschie sistemy. 2012. T. 10. № 8. pp. 61–67.
7. Verba V.S., Polivanov S.S. Organizatsiya informacionnogo obmena v setecentricheskikh boevykh operatsiyah // Radiotekhnika. 2009. № 8. pp. 57–62.
8. Kondrat'ev A.E. Obschaya harakteristika setevykh arhitektur, primenyaemykh pri realizatsii perspektivnykh setecentricheskikh koncepcij veduschih zarubezhnykh stran // Voennaya mysl'. 2008. № 12. pp. 63–74.
9. Verba V.S., Merkulov V.I. Teoreticheskie i prikladnye problemy razrabotki sistem radioupravleniya novogo pokoleniya // Radiotekhnika. 2014. № 5. pp. 39–44.
10. Aviacionnye sistemy radioupravleniya: uchebnik dlya voennykh i grazhdanskih VUZov i nauchno-issledovatel'skikh organizatsij. / V.I. Merkulov, V.S. Chernov, V.A. Gandurin, V.V. Drogalin, A.N. Savel'ev. Pod red. V.I. Merkulova. M.: VVIA im. N.E. Zhukovskogo, 2008. 423 p.
11. Aviacionnye sistemy radioupravleniya. T. 3. Sistemy komandnogo radioupravleniya. Avtonomnye i kombinirovannye sistemy navedeniya / V. I. Merkulov, A. I. Kanaschenkov, V.S. Chernov, V.V. Droralin, V.N. Antipov, G.V. Ancev, V.S. Kulabuhov, V.N. Lepin, V.A. Sarychev, V.N. Sablin, O.F. Samarina, V.A. Tupikov, L.S. Turneckij, V.P. Har'kov. Pod red. A.I. Kanaschenkova i V.I. Merkulova. M.: Radiotekhnika, 2004. 320 p.
12. Dremlyuga G.P., Zav'yalova O.A. Opyt ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v boevykh operatsiyah // Problemy razvitiya korabel'nogo vooruzheniya i sudovogo radio`elektronnogo oborudovaniya. 2016. № 3 (8). pp. 67–73.
13. Udarnye bespilotnye letatel'nye apparaty i protivovozdushnaya oborona – problemy i perspektivy protivostoyaniya / V.V. Rostopchin. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye_letatelnye_apparaty_i_protivovozdushnaya_oborona_-_problemy_i_perspektivy_protivostoyaniya. (data obrascheniya 20.05.2019).
14. Verba V.S. Aviacionnye komplekсы radiolokatsionnogo dozora i navedeniya. Principy postroeniya, problemy razrabotki i osobennosti funkcionirovaniya: Monografiya. M.: Radiotekhnika, 2014. 528 p.
15. Analiz sposobov protivodejstviya bespilotnym letatel'nym apparatam dlya obespecheniya bezopasnosti zaschischaemykh ob`ektov / V.O. Egurnov, V.V. Il'in, M.I. Nekrasov, V.G. Sosunov // Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu. 2018. № 1–2 (115–116). pp. 51–58.
16. Arapov O. L., Zuev Yu.S. Povyshenie veroyatnosti preodoleniya letatel'nym apparatom sredstv protivovozdushnoj oborony // Vestnik Koncerna PVO Almaz-Antej. 2014. № 1 (11). pp. 57–60.
17. Roschina N. V. Sistemy i sredstva upravleniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov kak ob`ekt ih porazheniya // Vestnik Yaroslavskego vysshego voennogo uchilishcha protivovozdushnoj oborony. 2019. № 1 (4). pp. 68–74.
18. Popov A.N., Teterin D.P. Metody planirovaniya traektorii dvizheniya bespilotnogo letatel'nogo apparata s uchetom protivodejstviya protivnika // Izvestiya Samarskego nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2017. T. 19. № 1–2. pp. 371–376.
19. Efanov V. N., Neugodnikova L.M. Programmnyj kompleks informacionnoj podderzhki prinyatiya reshenij pri ocenke tipovykh traektorij poleta // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informacionnykh tekhnologij, mehaniki i optiki. 2009. № 6 (64). pp. 38–43.



20. Kozub A. N., Kucherov D.P. Integracionnyj podhod k zadache vybora marshruta grupy BPLA // *Iskusstvennyj intellekt*. 2013. № 4. pp. 333–343.
21. Lebedev G.N., Mirzoyan L.A., Efimov A.V. Vybor mnogoal'ternativnyh marshrutov poleta bespilotnogo letatel'nogo apparata pri nablyudenii trassy i nazemnyh tochechnykh ob'ektov na `etape planirovaniya poleta // *Trudy MAI*. 2011. № 48. pp. 1–11.
22. Vybor mnozhestva prioritetnyh nazemnyh ob'ektov nablyudeniya s pomosh'yu bespilotnyh letatel'nyh apparatov i marshrutizaciya ih poleta / G.N. Lebedev, V.I. Goncharenko, O.Yu. Careva, D.A. Mihajlin // *Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tehnologij*. 2019. № 2 (176). pp. 3–12.
23. Tan' L. Planirovanie marshruta poleta bespilotnogo letatel'nogo apparata na osnove metoda chastichno-celochislennogo linejnogo programmirovaniya: dis. ... kandidata tehniceskikh nauk. M.: Mosk. gos. tehn. un-t im. N. E. Baumana, 2016.
24. G`en K.K. Avtonomnaya sistema upravleniya poletom kvadrokoptera s vozmozhnost'yu obleta prepyatstvij i kompleksnoj navigaciej: dis. ... kandidata tehniceskikh nauk. M.: Mosk. gos. tehn. un-t im. N. E. Baumana, 2017.
25. Makarenko S.I., Ivanov M.S., Popov S.A. Pomehozaschischennost' sistem svyazi s psevdosluchajnoj perestrojkoj rabochej chastoty: Monografiya. SPb.: Svoe izdatel'stvo, 2013. 166 p.
26. Ocenka `effektivnosti sistemy peredachi signalov upravleniya v kanalah svyazi s zaderzhkoj / V.A. Vasil'ev, P.A. Fedyunin, M.A. Danilin, A.V. Vasil'ev // *Informatika: problemy, metodologiya, tehnologii Sbornik materialov XIX mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii / pod red. D.N. Borisova. Voronezh*, 2019. pp. 249–254.
27. Makarenko S.I. Obespechenie ustojchivosti telekommunikacionnoj seti za schet ee ierarhicheskoy klasterizacii na oblasti marshrutizacii // *Trudy uchebnyh zavedenij svyazi*. 2018. T. 4. № 4. pp. 54–67.
28. Makarenko S.I. Lokalizaciya oblastej vozdejstviya destabiliziruyuschih faktorov v seti svyazi na osnove algoritma ierarhicheskoy klasterizacii Lansa-Vil'yamsa // *Radiotehniceskije i telekommunikacionnye sistemy*. 2014. № 4. pp. 70–77.
29. Makarenko S.I. Metod obespecheniya ustojchivosti telekommunikacionnoj seti za schet ispol'zovaniya ee topologicheskoy izbytochnosti // *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. 2018. № 3. pp. 14–30.
30. Cvetkov K.Yu., Makarenko S.I., Mihajlov R.L. Formirovanie rezervnyh putej na osnove algoritma Dejkstry v celyah povysheniya ustojchivosti informacionno-telekommunikacionnyh setej // *Informacionno-upravlyayuschie sistemy*. 2014. № 2. pp. 71–78.

© Васильченко А.С., 2020

Васильченко Александр Сергеевич, адъюнкт 93 кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vasilchenkoas@rambler.ru.