

УДК 681.5.01

DOI: 10.52531/1682-1696-2023-23-1-18-23

Научная статья

АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ГРУППЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Р.О. Пономарев

АО «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. АКАДЕМИКА А.И. БЕРГА»

Предложены основные особенности управления группой малоразмерных летательных аппаратов и применение интеллектуальной системы управления для принятия эффективного решения при выполнении поставленной цели. Рассмотрены возможности сценарного анализа и системного подхода для моделирования системы управления группой летательных аппаратов в условиях воздействия внешних факторов. Предложена концептуальная модель для проведения сценарного анализа уязвимости и живучести группы летательных аппаратов при прогнозировании и планировании задач управления объектами группы. Рассмотрены и обоснованы сценарные характеристики, предложен анализ различных типов угроз от внешних воздействующих факторов.

Ключевые слова: группа летательных аппаратов, интеллектуальная система управления, уязвимость, живучесть, сценарный анализ, внешние воздействующие факторы

ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные летательные аппараты являются наиболее перспективным направлением развития авиации в будущем. На смену пилотируемым аппаратам приходят автономные аппараты с интеллектуальным управлением, способные самостоятельно выполнять поставленные задачи. Массовое производство малоразмерных летательных аппаратов (ЛА) приведет не только к удешевлению единичного образца, но и делает возможным их групповое применение.

Авиационные комплексы, беспилотные летательные аппараты в ходе целевых действий решают вполне конкретные функциональные задачи на соответствующем иерархическом уровне. Степень решения этих задач определяется возможностью оперативного при-

Original article

ANALYSIS OF VULNERABILITY AND SURVIVABILITY OF AN AIRCRAFT GROUP UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS

R.O. PONOMAREV

JSC «CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF RADIO ENGINEERING NAMED AFTER ACADEMICIAN A.I. BERG»

The base specificity of controlling a group of small-sized aircraft and the use of an intellectual control system for making an effective decision when performance the chosen target are proposed. The possibilities of scenario analysis and a system approach for modeling the control system of an aircraft group under the influence of external factors are considered. A conceptual model is proposed for conducting a scenario analysis of vulnerability and survivability of an aircraft group in prediction and planning object control tasks. Scenario characteristics are considered and justified, an analysis of various types of threats from the influence of external factors is proposed.

KEYWORDS: aircraft group, an intellectual control system, vulnerability, survivability, scenario analysis, the influence of external factors

ятия решения автоматической системой управления (интеллектуальным управлением) в зависимости от внутренних состояний системы и внешних воздействующих факторов. В конкретных условиях и за конкретный промежуток времени принятие и реализация решения должно быть своевременным и должны эффективно выполняться задачи стратегического и тактического планирования, чтобы достигнуть поставленной цели. С одной стороны, эффективность определяет степень реализации потенциальных возможностей интеллектуального управления выполнять целевые задачи малоразмерного летательного аппарата (ЛА) на определенном интервале времени. С другой стороны, эффективность боевого применения сил оценивается величиной нанесенного противнику ущерба, величиной понесенных потерь и временем, затрачиваемым на выполнение задач, т.е. эффективность зависит от совершенствования АСУ; от быстрого,

оперативного реагирования на внезапные (внеплановые) изменения обстановки и принятия решения лицом, принимающим решения (ЛПР), либо автоматизированной системой управления (интеллектуальности системы); от возможностей инновационного развития объектов, структур; от внедрения автоматизированного и высокоуровневого проектирования на каждой стадии жизненного цикла изделия. Эффективность интеллектуальной системы управления – мера соответствия комплекса своему назначению по решению задач информационного обеспечения группы летательных аппаратов, а также защищенность, стойкость и живучесть объектов, входящих в сложную структуру группы, анализ функционирования, отражение и ослабление возможных угроз от внешних воздействующих факторов (ВВФ).

1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В данном исследовании группа малоразмерных летательных аппаратов рассматривается как сложная система, которая состоит из большого количества разнородных элементов, блоков, подсистем, объединенных в систему, направленную на достижение единой цели. Возможности такой сложной системы будут определяться не только свойствами и характеристиками отдельных элементов, но и характером и скоростью взаимодействия между этими элементами [6].

Структуру функционирования и управления группой малоразмерных летательных аппаратов можно рассмотреть в виде графовой модели (рис. 1), в которой показаны основные целевые системы интеллектуального управления.

В структуру малоразмерных летательных аппаратов входят следующие основные системные объекты: двигательная установка; система управления; система радиосвязи; навигационная система, системы разведки с встроенными накопителями информации; средства постановки радиоэлектронных помех различного типа; устройства управления оружием и средства поражения цели; транспортные единицы; аппаратура автономного полета и посадки. В большинстве случа-

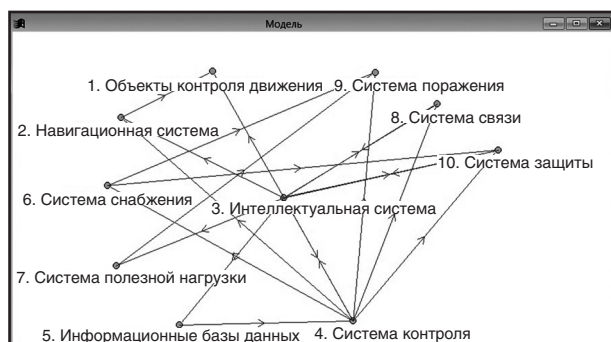


РИС. 1.
Графовая модель систем, входящих в структуру группы ЛА

ев малоразмерные ЛА решают следующие основные задачи: ведение наблюдения и разведки; нанесения ударов по наземным целям, самостоятельно или носимыми средствами поражения; постановка радиоэлектронных помех различного типа и назначения; корректировка и целуказание средств поражения; возможность использования в качестве ложных воздушных целей.

Основные преимущества малоразмерных ЛА над другими летательными аппаратами: возможность удаленного выполнения задач; обеспечение оператора информацией о ходе выполняемой задачи практически в реальном масштабе времени; низкая заметность (по сравнению с пилотируемыми ЛА) в радиолокационном и оптическом диапазонах за счет более низких массогабаритных характеристик и бесшумность двигателей; широкое применение в конструкции ЛА композитных материалов; возможность совершать маневры с высокими перегрузками. Основными недостатками являются: ограничения по использованию в зависимости погодных условий; низкое интеллектуальное управление в автономном режиме; низкая скрытность каналов радиуправления и подверженность воздействию радиоэлектронных помех; ограничения по массе и полезной нагрузке [1].

Одной из стратегий повышения эффективности применения малоразмерных ЛА является переход к их групповому применению. Очевидно, что при повышении автономности и неоднородности группы ЛА, при этом объект группы выполняет разные функциональные задачи, необходимые для достижения совместной цели (такая структура будет эффективно достигать цели в сложившейся внешней обстановке), более сложными будут алгоритмы функционирования структуры группы ЛА, и могут возникать уязвимые элементы при выходе за целевой режим функционирования или при выведении из строя угрозой от внешнего окружения объектов группы.

Целью работы является анализ живучести и уязвимости структуры системы группы беспилотных летательных аппаратов и выбор сценарных характеристик для максимизации целевого показателя в зависимости от внешних воздействующих факторов.

Для сохранения высокой эффективности группового применения ЛА необходимо применять децентрализованную систему управления, способную функционировать в автономном режиме. Кроме того, для координации совместных действий группы малоразмерных ЛА такая система управления должна иметь интеллектуальное управление и самоорганизующуюся структуру, способную адаптироваться к любой обстановке [2].

В условиях сложившейся обстановки информационных и организационно-технических противоборств наиболее эффективно создавать такие системы, которые будут своевременно и в кратчайшие сроки на

основе совершившихся событий (баз знаний, библиотек данных, экспертных оценок) предоставлять автоматизированной системе управления, показатели внутреннего состояния системы и внешнего окружения [5]. Интеллектуальная система управления должна проводить мониторинг за сложившейся обстановкой и прогнозировать появление определенной ситуации (тенденции улучшения или ухудшения), которая зависит от динамики функционирования сложной системы и от характеристик внешнего окружения – угрозы, возможность реализации которой может нанести повреждения или разрушить сложную систему. Особенности применения малоразмерных ЛА является наличие внутреннего и внешнего окружения, возможность модернизации и применение современной автоматизированной системы управления на всех этапах жизненного цикла.

Настоящая работа предлагает исследовать методами сценарного анализа и синтеза безопасность и защищенность групповых малоразмерных летательных аппаратов при выполнении ими целевых задач, к таким сложным системам предъявляются большое количество требований, основными из которых будут надежность, живучесть и стабильность. В современных условиях, самое пристальное внимание акцентируется на понятие живучести и уязвимости группового применения ЛА. Эти свойства характеризуют внутрисистемные связи и взаимодействие элементов группы ЛА с окружающей средой с различных сторон. Основными направлениями исследования является использование ситуационного подхода, основанного на сценарном анализе и синтезе комплексного объекта для моделирования возможных событий, принятия оперативных решений, поиска уязвимых элементов и живучести всей структуры системы при воздействии на группу летательных аппаратов ВВФ, а также выявление негативных последствий. Основными задачами системы управления группой летательных аппаратов являются: анализ ВВФ для определения нанесения системе или отдельным её компонентам ущерба; уменьшение уязвимости элементов и повышение живучести подсистем и самой системы; снижение времени на обработку информации и выработки сценарных прогнозов для принятия решения по противодействию угрозам; выполнение интеллектуальной системой управления группой ЛА мероприятий в соответствии с принятыми решениями на основе сценарного прогноза.

Наиболее актуальная система управления беспилотных ЛА, состоящая из трех уровней: стратегического, тактического и реактивного. Основной задачей управления на стратегическом уровне является построение согласованного плана поведения участников совместной деятельности [2]. С помощью сценарного анализа и синтеза моделируется спектр сценариев функционирования различных объектов и всей структуры системы в целом, что позволит спрогнозировать множество возможных событий и

расширить план поведения отдельного объекта или всей системы на уровне стратегического управления. На рисунке 2 показана структурная схема сценарного исследования, которое позволяет расширить возможности управления на стратегическом уровне путем построения спектра прогнозных сценариев функционирования структуры системы, провести расчёт и анализ сценарных характеристик и по критериям выбрать ЛПР или интеллектуальной системой управления эффективного решения в зависимости от имеющихся ресурсов и резервов. Сценарное исследование позволяет строить альтернативные сценарии в реальном режиме времени и по сценарным характеристикам оценивать разные параметры системы, такие как стойкость, живучесть, уязвимость, что позволит выбрать эффективное управленческое решение.

При реализации угрозы из внешнего окружения возникает ситуация, при которой в компонентах группы ЛА появляются уязвимые элементы, что может привести к повреждению целевых элементов системы и нарушению целевого режима функционирования. Это приводит к уменьшению живучести и стойкости системы или не возможности сложной системы правильно выполнять своё целевое назначение. Такая ситуация может дать возможность ВВФ разрушить все элементы группы ЛА.

2. СВОЙСТВА БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУППЫ ЛА

Предложены определения основных свойств безопасного функционирования группы ЛА, такие как целевой режим функционирования, стабильность, живучесть, уязвимость.

Целевой режим функционирования (ЦРФ) – желательное состояние и направление функционирования и стратегического развития объектов группы ЛА. ЦРФ характеризуется допустимыми значениями параметров в отдельных объектах группы и их совместного функционирования, которые обеспечивают безопасное функционирование сложной системы.

Стабильность – системный параметр, обеспечивающий надёжное и стойкое функционирование группы ЛА в определенном (отличном от заданного) режиме ЦРФ, при этом исключается возможность возникновения нештатной ситуации.

Живучесть – системный параметр, свойство системы, характеризующее её способность функционировать под влиянием ВВФ, возникающих в процессе функционирования объектов группы ЛА с учетом возможности восстановления ЦРФ или целевых элементов сложной системы.

Угрозой $\gamma \in \Omega^{(tr)}$ назовем фактор, реализация которого может привести к гипотетической возможности реализации нежелательных ситуаций. При описании структуры группы ЛА в виде формальной сложной системы под угрозой будем понимать совокупность

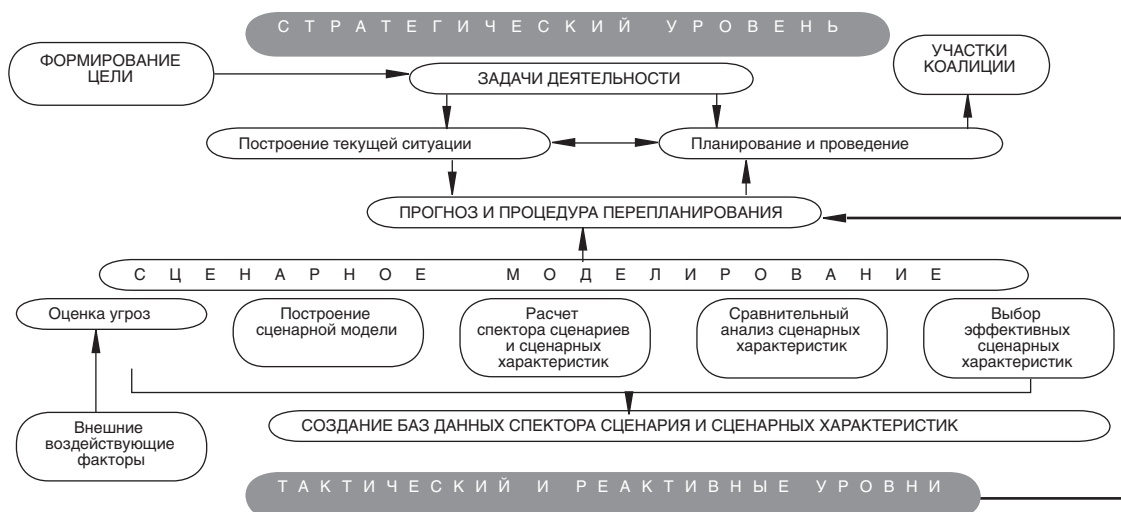


Рис. 2.

Структурная схема сценарного исследования на различных уровнях управления.

факторов системы и внешней среды, могущих привести при интеллектуальном управлении системой к существенному ухудшению состояния ее параметров, в том числе нештатной ситуации (НШС). Пусть $\Omega^{(tr)}$ – область недопустимых событий, т.е. условие $I \in \Omega^{(tr)}$ определяет НШС.

Уязвимость – системный параметр, характеризующий наличие «слабых мест» в системе, для которых существует возможность нанесения описываемой системе повреждений любой природы, нарушающих ЦРФ. Возможность реализации угрозы в определенном объекте исследуемой системы, приводящая к нарушению стойкости системы, представляет собой ее место уязвимости. В рамках предложенного формализма местом уязвимости могут быть системные объекты, их комбинация, объекты динамической модели DS и т.п. Система введенных понятий дает возможность сформулировать концепцию уязвимости и живучести структуры системы малоразмерных ЛА [3].

Концептуальная модель уязвимости и живучести:

- набор объектов $S_\alpha, \alpha \in \hat{A}$ системы S в текущий момент времени t ;
- состояние $\mathfrak{S}_{S_\alpha}(t)$ объекта $S_\alpha, \alpha \in \hat{A}$ системы S в текущий момент времени t ;
- множество угроз $\Gamma^{(tr, \alpha)}$, которые могут быть реализованы по отношению к объекту $S_\alpha, \alpha \in \hat{A}$;
- меры удаленности $\rho_\alpha(\mathfrak{S}_{S_\alpha}(t), C_\alpha)$ объекта S_α системы от целевого режима ее функционирования C_α ;
- допустимая граница удаленности ε_α объекта S_α системы от C_α ;
- множество пребываний $T_E^{(t, in)}(\mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \varepsilon)$ и выхода $T_E^{(t, out)}(\mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \varepsilon)$ сценария $\mathfrak{R}(\Delta)$ за ε -окрестность вектора \mathbf{a} ;
- множество возможных управлений $M^y(S)$ системой S в текущий момент времени.

Для определения коэффициентов живучести были предложены следующие сценарные характеристики системы:

- множество периодов выхода сценария $R(\Delta, \gamma)$ за ε -окрестность вектора \mathbf{a} при реализации угроз

$$T_E^{(t, out)}(\mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \gamma, \varepsilon) = \text{Arg}_{t \in \Delta} (d_E^{(t)}(\mathfrak{R}, \mathbf{a}, \gamma, \Delta) \geq \varepsilon);$$

характеристика показывает количество сбоев в работе (уязвимо) объекта сложной системы под влиянием поражающего фактора на заданном горизонте сценария;

- множество периодов пребывания сценария $\mathfrak{R}(\Delta, \gamma)$ в ε -окрестности вектора \mathbf{a} при реализации угроз

$$T_E^{(t, in)}(\mathfrak{R}, \mathbf{a}, \Delta, \gamma, \varepsilon) = \text{Arg}_{t \in \Delta} (d_E^{(t)}(\mathfrak{R}, \mathbf{a}, \gamma, \Delta) \leq \varepsilon);$$

характеристика показывает границы стойкости объектов сложной системы на заданном горизонте сценария под воздействием поражающего фактора без надлежущего управления.

Характеристики могут быть использованы как целевые для решения задачи о максимальном ущербе при реализации сценария от угрозы и являются оценкой уязвимости сложного объекта;

- минимальный коэффициент уязвимости для множества угроз $\Gamma^{(\alpha)}$

$$C^{(\alpha, \min)}(\gamma, \Delta) = \min_{\gamma \in \Gamma^{(\alpha)}} C^{(\alpha)}(\gamma, \Delta);$$

- максимальный коэффициент уязвимости для множества угроз $\Gamma^{(\alpha)}$

$$C^{(\alpha, \max)}(\gamma, \Delta) = \max_{\gamma \in \Gamma^{(\alpha)}} C^{(\alpha)}(\gamma, \Delta);$$

– минимальный коэффициент уязвимости для объектов системы

$$C^{(\min)}(\gamma, \Delta) = \min_{\alpha \in A} C_{\alpha}(\gamma, \Delta);$$

– максимальный коэффициент уязвимости для объектов системы

$$C^{(\max)}(\gamma, \Delta) = \max_{\alpha \in A} C_{\alpha}(\gamma, \Delta);$$

– коэффициент $\Psi_{\alpha}^{(z)}(\gamma, \Delta)$ повреждения объекта S_{α} сложной системы при реализации угрозы $\gamma \in \Gamma^{(y, z)}$ на отрезке Δ , который отражает как величину ущерба, так и величину удаленности от ЦРФ:

$$\Psi_{\alpha}^{(z)} = C_{\alpha}^{(z)}(\gamma, \Delta) \delta \mathbf{a}(t),$$

где \mathbf{a} – целевой режим функционирования, $\mathbf{z}(t)$ – сценарий поведения сложной системы при воздействии угрозы; $\delta \mathbf{a}(t)$ – евклидово рассогласование между \mathbf{a} и $\mathbf{z}(t)$ в момент времени t . В соответствии с таким подходом сильными повреждениями назовём повреждения, при которых стойкость объекта системы нарушается на величину более максимального коэффициента повреждения $\Psi_{\alpha}^{(z, \max)}$, при реализации угроз $\Gamma^{(y, z)}$. Средними повреждениями назовём такие повреждения, при которых стойкость объекта системы нарушается в пределах от $\Psi_{\alpha}^{(z, \min)}$ до $\Psi_{\alpha}^{(z, \max)}$. Несущественными повреждениями назовём повреждения, при которых стойкость объекта сложной системы нарушается на величину менее $\Psi_{\alpha}^{(z, \min)}$ [3].

Поиск характеристик уязвимости и живучести системы проводится с целью определения безопасного горизонта сценария и управляющих воздействий, способных скомпенсировать распространение поражающего фактора по системе от источника угроз.

3. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ТИПОВ УГРОЗ И ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Практическая значимость концептуальной модели уязвимости и живучести заключается в оценке различного вида угроз от ВВФ, которая включает: идентификацию уязвимых мест структуры системы и объектов группы ЛА; оценку повреждений наносимых системе или отдельным её объектам; выбор оптимальных механизмов защиты. Оценка угроз по степени риска является не полной и целесообразно учитывать вероятностный характер возможности реализации угроз для нанесения ущерба информационным ресурсам маломерным ЛА. Предлагается рассмотреть различные типы реализации угрозы:

1. Направленная на передачу ложной информации. В данном случае предполагается внедрение ложных команд управления, а также перехват и целенаправленное искажение навигационных данных (перехват управления ЛА).

2. Направленная на ухудшение качества информационных взаимодействий между объектами в группе путем создания агрессивной среды, что достигается, например, при постановке помех средствами радиоэлектронного подавления и др. (затруднение выполнения целевых команд группой ЛА).

3. Направленная на нарушение целостных характеристик объектов, в которых находится защищаемая информация (нанесение ущерба системе путем физического воздействия на объекты группы ЛА и обеспечивающую инфраструктуру).

Основные меры противодействия возможным ВВФ и выбор сценарных характеристик, предложен в таблице 1.

Для анализа и оценки характеристик, предлагается воспользоваться методикой сценарного исследования и провести вычислительный эксперимент, предложенный в [4]. По результатам вычисления спектра сценариев и характеристик создаются базы оперативных данных экспертно-значимых событий, которые будут предоставлять информацию системе интеллектуального управления для определения с помощью каких ресурсов можно эффективно управлять группой ЛА в условиях сложившейся ситуации и как принятые решения влияют на изменение ситуации в реальном масштабе времени. Основная цель – создание более гибкой информационной системы управления при реализации непредвиденных ВВФ. Данная концепция исследований и предложенные модели и методы предназначены для оценки различных вариантов при поисковом проектировании, выбора перспективного направления развития, совершенствования управления группой ЛА и всестороннего анализа её функционирования, что позволит учесть внутреннюю структуру системы, целеполагание, внешнее окружение и взаимодействие между данными параметрами.

ВЫВОДЫ:

В настоящей работе рассмотрены основные особенности функционирования группы малоразмерных летательных аппаратов, достоинства и недостатки их применения для достижения поставленной цели. Предложены методы применения сценарного анализа для повышения эффективности интеллектуальной системы управления при решении объектом управления поставленных задач. Сформулированы основные свойства безопасного функционирования группы ЛА, разработана концептуальная модель уязвимости и живучести при воздействии ВВФ, предложены и обоснованы сценарные характеристики: множество периодов выхода объектов системы за ЦРФ, максимальный и минимальный коэффициент уязвимости системы, коэффициент повреждения. Рассмотрены различные типы угроз, направленных от ВВФ, предложены мероприятия по защите и выбраны сценарные характеристики для оценки эффективности применения мероприятий.

ТАБЛИЦА 1.

Выбор сценарных характеристик для противодействия ВВФ

Угроза	Направленность действия ВВФ	Мероприятий по защите	Сценарные характеристики для оценки
1.	Нарушение работоспособности навигационных подсистем (распознавание траектории движения и местоположения). Нарушение связи с объектом (пунктом) управления	Повышение интеллектуальности управления (анализ и поиск пути в реальном масштабе времени, переадресация на альтернативные ретрансляторы и т.д.). Изменение плановых задач. Актуализация баз знаний. Снабжение целевых объектов датчиками контроля положения и местоположения	Максимизация вероятности восстановления работоспособности системы управления ЛА; минимизация вероятности ошибок в подсистемах управления ЛА; использование распознавания адресов объектов и учёт их местоположения (объектом или пунктом управления)
2.	Нарушение работоспособности при воздействии помех от внешнего окружения или преднамеренных от средств подавления противником.	Защита сигнала управления от помех, постановка ответных помех, вывод из строя источника помех, перераспределение ресурсов на ликвидацию поражающего фактора, скрытие и неразличимость для помехи, реорганизация группы.	Максимальная живучесть всех объектов и группы в целом ($T_E^{t.out}$), стойкость выполнения ЦРФ при воздействии ВВФ ($T_E^{t.in}$), надежность и защищенность уязвимых элементов $C^{(max)}(\gamma, \Delta)$ (анализ и прогнозирование уязвимых элементов от помех, анализ воздействия помехи)
3.	Нанесение ущерба системе путем физического воздействия	Защита от физического воздействия	Обнаружения угрожаемых РЛС в реальном масштабе времени, живучесть при маневрах уклонения, повреждение наименее значимых объектов ($\Psi_{\alpha}^{(2)}$), разрушение боевых единиц угрожаемых объектов

ДАЛЬНЕЙШИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ:

Оптимизация конфигурации, геометрических размеров и расстояния при полете малоразмерных групп ЛА в том числе с учётом защищенности объектов.

Выбор и подбор объектов разного размера и функционального назначения при выполнении целевых задач с максимальной живучестью системы и минимальной уязвимостью при распознавании и различимости РЛС.

Создание моделей и базы знаний спектра сценариев функционирования объектов и всей группы в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **МАКАРЕНКО С.И., ТИМОШЕНКО А.В., ВАСИЛЬЧЕНКО А.С.** Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 109–146.
2. **МАКАРОВ Д.А., ПАНОВ А.И., ЯКОВЛЕВ К.С.** Архитектура многоуровневой интеллектуальной системы управления беспилотными летательными аппаратами // Искусственный интеллект и принятие решений, 2015. № 3. С. 18–33.
3. **ПОНОМАРЕВ Н.О., КОНОНОВ Д.А., ШВЕЦОВ Д.А., ПОНОМАРЕВ Р.О.** Сценарное исследование уязвимости сложных организационно-технических систем / Труды НИИСИ РАН. М.: НИИСИ РАН, 2014, Т. 4, № 2. С. 61–68
4. **ПОНОМАРЕВ Р.О., КОНОНОВ Д.А., ХАСАНОВ И.М.** Сценарный анализ уязвимости сложной системы: вычислительный эксперимент / Труды НИИСИ РАН. М.: ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, 2016, Т. 6. № 2. С. 26–33.

5. Управленческие решения при проектировании радиотехнических систем. Монография / Под ред. П.А. Созинова. М.: Радиотехника, 2018. 560 с.
6. **ШАРАКШАНЭ А.С. и др.** Сложные системы. М.: «Высшая Школа», 1977, 247 с.

REFERENCES

1. **MAKARENKO S.I., TIMOSHENKO A.V., VASILCHENKO A.S.** Counter Unmanned Aerial Vehicles. Part 1. Unmanned aerial vehicle as an object of detection and destruction. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. 2020;(1):109–146. (In Russian).
2. **MAKAROV D.A., PANOV A.I., YAKOVLEV K.S.** Architecture of multilevel intelligent control systems for unmanned aircraft. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy*. 2015;(3):18–33. (In Russian).
3. **PONOMAREV N.O., KONONOV D.A., SHVEYTSOV D.A., PONOMAREV R.O.** Scenario research of vulnerability of complex organizational and technical systems. *Proceedings of SRISA RAS*, 2014;(4):61–68. (In Russian).
4. **PONOMAREV R.O., KONONOV D.A., KHASANOV I.M.** Computing experiment of characteristics of complex system for the purpose to identify vulnerabilities. *Proceedings of SRISA RAS*, 2016;6;(2):26–33. (In Russian).
5. Management decisions in the design of radio engineering systems. Monograph / Ed. P.A. Sozinova. Moscow: Radiotekhnika, 2018:560. (In Russian).
6. **SHARAKSHANE A.S. ET. AL.** Complex systems. Moscow: "Vysshaya Shkola", 1977:247. (In Russian).

Пonomarev Роман Олегович, инженер АО "ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга"

✉ 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 20, стр. 9, 107078, Moscow, st. New Basmanayaya, b. 20, p. 9, тел.: +7 (916) 409-77-65, e-mail: RomanWork21@yandex.ru