

УДК 623.746.-519

DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-2-91-105

## Обзор целевых объектов применения беспилотных летательных аппаратов, работающих в составе группы

А.И. Селин<sup>1</sup>, И.К. Туркин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия*

**Аннотация:** В настоящее время большое количество фирм, в том числе и в России, занимается разработкой в сфере беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Это объясняется стремлением к уменьшению человеческого труда в различных сферах деятельности, в частности связанных с большим риском для жизни и здоровья. Все это ведет к постоянному расширению спектра задач применения беспилотных аппаратов. Большой интерес к проблемам группового применения БПЛА показывает актуальность выбранной темы исследования. В рамках разработки метода определения проектных параметров беспилотного самолета, учитывая функционирование в группе аппаратов, авторы провели анализ результатов в этой области. Постановке задачи формирования облика как концептуальной характеристики аппарата предшествует анализ целевых объектов применения группы БПЛА. В статье рассмотрены различные целевые объекты применения групп аппаратов. Результат анализа целевых объектов может быть заложен в основу вывода о предъявляемых требованиях к проектированию данного класса БПЛА. Элементом новизны работы, по сравнению с работами других специалистов, является обобщение материалов опыта достижений в области разработки БПЛА, работающих в составе групп, а также выявление основных сценариев их применения при выполнении спецопераций.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, группа аппаратов, рой, сценарии применения, критерии проектирования.

**Для цитирования:** Селин А.И., Туркин И.К. Обзор целевых объектов применения беспилотных летательных аппаратов, работающих в составе группы // Научный Вестник МГТУ ГА. 2023. Т. 26, № 2. С. 91–105. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-2-91-105

## Review of target objects for the group-operated unmanned aerial vehicles application

A.I. Selin<sup>1</sup>, I.K. Turkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

**Abstract:** Currently, the big number of companies, and specifically in Russia, is engaged in designing unmanned aerial vehicles (UAV). It is caused by the tendency to reduce human labor in various fields of activity, in particular, associated with a great risk to life and health. All these factors lead to the steady growth of different-type missions for the UAV application. Urgency of the research generates considerable interest towards the issues of the UAV application. As part of developing a method for determining UAV design parameters, the author analyzed the results in this domain, considering the operation in a group of aircraft. In order to propose a conceptual aircraft solution for designing a model, the analysis of target objects for the UAV group application was conducted. The article considers various target objects for the application of UAV groups. The result of the analysis for target objects can form the basis for the conclusion involved with the imposed requirements for the design of this UAV class. Compared to other specialists' articles, this paper is distinguished by synthesizing the achievements in the sphere of group-operated UAV design, as well as by establishing the basic trends for their application while conducting warfare.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, group of aircraft, swarm of drones, application trends, design criteria.

**For citation:** Selin, A.I., Turkin, I.K. (2023). Review of target objects for the group-operated unmanned aerial vehicles application. Civil Aviation High Technologies, vol. 26, no. 2, pp. 91–105. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-2-91-105

## Введение

В настоящее время наиболее перспективными считаются тактические объединения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в группы или рой. Такое объединение позволяет децентрализовать управление, увеличить эффективность, снизить время выполнения операции за счет равномерного распределения задач в группе. Все это позволит уменьшить затраты на выполнение задачи без уменьшения эффективности. При этом стоит отметить, что достижения искусственного интеллекта и микропроцессорной техники позволяют наделить аппараты должным уровнем автоматизации в рамках выполнения общей целевой задачи. Такое объединение заимствовано из окружающего нас мира. После организации дронов в группу или рой, где у каждого летательного аппарата есть собственная система управления, их действия в группе контролируются одним оператором либо программным обеспечением с искусственным интеллектом (ИИ).

Таким образом, широкий диапазон задач, выполняемых небольшими БПЛА, работающими в составе группы, их относительная дешевизна, малая заметность по сравнению с БПЛА средних и тяжелых классов, а также высокая взаимозаменяемость отдельных БПЛА при выполнении операций, возможность обслуживания низкоквалифицированным персоналом делают исследования в данной области весьма перспективными.

Для повышения эффективности использования БПЛА имеются различные стратегические подходы. Например, переход на их групповое применение в рамках стратегии сетецентрического управления. Разработка теоретических основ применения БПЛА в составе группы логично продолжает идею повышения эффективности при уменьшении трудоемкости [1].

Ведущие мировые страны, в том числе и Россия, большое внимание уделяют развитию беспилотных авиационных технологий. Это объясняется современной тенденцией к автоматизации выполнения задач в различных сферах деятельности, в которых человек ис-

пытывает риск для жизни. Исходя из этого спектр задач, выполняемых комплексами с БПЛА, постоянно расширяется [2].

Большой интерес к проблемам группового применения БПЛА показывает актуальность выбранной темы исследования, что подтверждается наличием большого количества публикаций по теме применения аппаратов в составе групп, а также публикациями в средствах массовой информации об активном применении массированных атак аппаратов в ходе выполнения специальных задач в различных регионах присутствия.

При проектировании аппаратов, работающих в составе группы, необходимо учитывать взаимодействие аппаратов между собой, что приводит к применению специализированного оборудования связи и контроля взаимоположения, использовать подходы к наибольшему сокращению стоимости, сроков изготовления. Применяемые технологические процессы должны выполняться низкоквалифицированным персоналом и быть адаптированы к поточному типу производства. Требования, предъявляемые к проектированию аппарата должны учитывать влияние параметров шасси и количества аппаратов.

## Анализ современной ситуации и перспектив разработки беспилотных самолетов, работающих в составе группы

В рамках разработки методики определения проектных параметров беспилотного аппарата, учитывая функционирование в группе, необходимо провести оценку критериев проектирования. Критерии проектирования могут быть определены из анализа требований, предъявляемых к выполнению операций, основанных на анализе целевых объектов. Был произведен анализ результатов в этой области. Рассматриваются различные проекты БПЛА, работающих в группах и в группах типа «рой».

Подобные работы, в частности, контролирует американское Управление перспективных научно-исследовательских проектов

в области обороны Defense Advanced Research Project. В октябре 2016 г. Минобороны Соединенных Штатов Америки (США) показало пилотирование роя БПЛА, состоящего из 103 мини-беспилотников Perdix.

Каждый из них весил около 290 граммов, запуск был произведен с трех самолетов-носителей FA-18 Super Hornet на Калифорнийском испытательном полигоне Чайна-Лейк. Аппараты продемонстрировали более совершенные модели группового поведения, такие как коллективная выработка решений, адаптируемый (к обстановке) строй в воздухе и «самолечение», – заявили в Пентагоне. Военное ведомство США пояснило, что небольшие и недорогие автономные системы, такие как Perdix, могут выполнять задачи, для которых ранее необходимо было отправлять только крупные дорогостоящие аппараты.

Основой проекта «Стая-93» Военного учебно-научного центра ВВС России «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» являются самоорганизующиеся группы, состоящие из БПЛА СОМ-93. Боевой вес каждого изделия составляет 2,5 кг. Группа управляется ведущим БПЛА-лидером, а другие устройства держат контакт с ним через инфракрасные камеры. В случае потери ведущего аппарата-лидера его место занимает другой, который будет выполнять функцию руководителя.

Комплекс группового применения «Молния», макет которого был представлен на выставке «Армия-2020», представляет собой реактивные аппараты, запускаемые группой с самолета-носителя.

БПЛА имеет удлиненный фюзеляж, реактивный двигатель, складывающееся крыло. Применена технология снижения радиолокационной и тепловизионной заметности. Старт будет происходить с самолета-носителя с внешних подвесок, а также из бомбовых отсеков. Применение: высокоточное поражение целей, разведка, целеуказание.

В проекте Low Cost Unmanned Aerial Car Swarming Technology, разработанном Управлением военно-морских исследований США, каждый БПЛА имеет стоимость около 15000 долларов и полностью автономен. Оператор

контролирует формирование группы, однако после запуска группа аппаратов работает в автономном режиме как рой<sup>1</sup>. БПЛА спроектированы по самолетной схеме. Старт осуществляется с помощью катапульта.

Кроме представленных БПЛА, согласно статьям Джека Ричардсона [3] от 16 февраля 2017 г. и генерал-лейтенанта Роберта Уолша [4], данная система может работать с БПЛА Coyote, изготовленными компанией Raytheon.

Также в интересах военно-промышленного комплекса США по заказу Управления перспективных исследовательских проектов Министерства обороны (DARPA) ведется разработка относительно недорогих самолетов Gremlins, запускаемых с пилотируемых самолетов-носителей (бомбардировщиков B-52 Stratofortress и B-1B Lancer, транспортников C-130 Hercules/Super Hercules) при полете на 12 200 м. Изделие под шифром X-61A может выполнять задания в составе группы и возвращаться на самолет-носитель. БПЛА имеет самолетную схему, способен развивать до 0,8 Мах (980 км/ч) и перевозить разведывательную аппаратуру и системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ)<sup>2</sup>.

Проект Perdix разработан MIT (США) в сотрудничестве с Office Strategic Capabilities и представляет собой сценарий группового использования военного БПЛА, созданного с применением аддитивных технологий.

С 2011 г. ведется разработка по проверке реализации идеи создания БПЛА для работы в группах, запускаемых с пилотируемых самолетов. Их основной задачей является создание помех в системах самонаведения ракет и противовоздушной обороны (ПВО)

<sup>1</sup> Aviation. The swarm! Low-cost unmanned aerial vehicle swarming technology (LOCUST) [Электронный ресурс] // SOFREP. by FighterSweep Staff, Mar 28 2017. URL: <https://sofrep.com/fightersweep/swarm-low-cost-unmanned-aerial-vehicle-swarming-technology-locust> (дата обращения: 30.04.2022).

<sup>2</sup> Беспилотник ВВС США Gremlins под маркой X-61A [Электронный ресурс] // GADGET, 2 октября 2019. URL: <https://24gadget.ru/1161069443-bespilotnik-vvs-ssha-gremlins-pod-markoj-x-61a-2-foto-video.html> (дата обращения: 30.04.2022).



**Рис. 1.** Внешний вид БПЛА из программы Cicada  
**Fig. 1.** UAV appearance from the Cicada software system

противника. Первые испытания были проведены в 2016 г.

В программе «Ванкувер» (США) предусматривается разработка управляемой авиационной бомбы с возможностью группового взаимодействия. Возможно, аппараты автоматически будут определять вышеуказанные цели и обмениваться данными с другими устройствами об изменении траектории движения, заменять уничтоженные врагом аппараты и, возможно, смогут обходить ряд опасностей по своему желанию.

Программа *Vanguard* включает в себя проекты *Skyborg* (ведомые дроны для пилотируемой авиации), разработку экспериментальных спутников *Navigation Technology Satellite-3* и проект *Golden Horde*, предполагающие внедрение умных бомб, имеющих способность к групповому взаимодействию и частичную автономность.

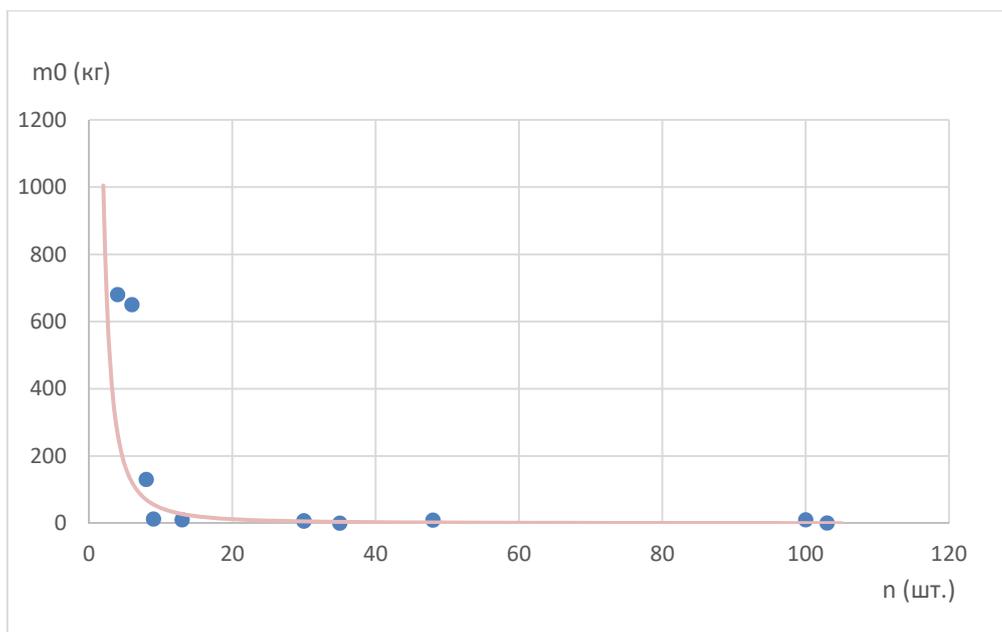
Военные планируют производить аппараты CSDB-1 и SMALD, основанные на *Small Diameter Bomb I* (разработка Boeing) и *Miniature Air-Launched Decoy* (детище Raytheon). Боеприпасы оснастят бортовыми системами связи и более производительными процессорами, которые обеспечат «роевые» функции.

Исследовательская морская лаборатория США в рамках программы Cicada ведет работу над планирующими беспилотными аппаратами, внешний вид которых представлен на рис. 1. Данные изделия, согласно замыслам разработчиков, способны «роем» сбрасываться с высоколетящего носителя, после чего аппараты планируют к цели, определяя свое местоположение по GPS.

Цена производства аппарата Cicada составляет примерно 250 американских долларов. Первые испытания данной системы прошли 25 июля 2017 года. С высоты 2,5 км был сброшен «рой» беспилотников из 32 аппаратов, поставленная задача была успешно выполнена.

China Academy of Electronics and Information Technology (CAEIT) продемонстрировала барражирующие боеприпасы применяемые в группе, которые можно размещать как на колесном шасси *Dongfeng Warrior*, так и на летательных аппаратах или морском средстве базирования.

Судя по показанным кадрам, была использована модель БПЛА, разработанная на базе барражирующего боеприпаса CH-901 [3], имеющего самолетную схему с Х-образным оперением.



**Рис. 2.** Зависимость массы аппарата от количества БПЛА в группе  
**Fig. 2.** Dependence of the aircraft mass on the UAV number in the group

Длина аппарата составляет 1,2 м, масса – 9 кг, скорость полета – около 150 км/ч. Радиус действия – 15 км, время полета – до 120 минут. Расстояние обнаружение цели до 2 км. Электрический двигатель, по заверениям разработчика, не производит излишнего шума. Данных о боевой части аппарата в настоящий момент нет.

Стоит отметить попытки нападения на авиабазы в Сирии, в которых применялись неизвестные группы БПЛА дальностью полета до 150 км, высотой полета до 4 км, производство которых выполнялось в кустарных условиях, что свидетельствует о возможности использования БПЛА некомпетентными людьми и к тому же в полевых условиях.

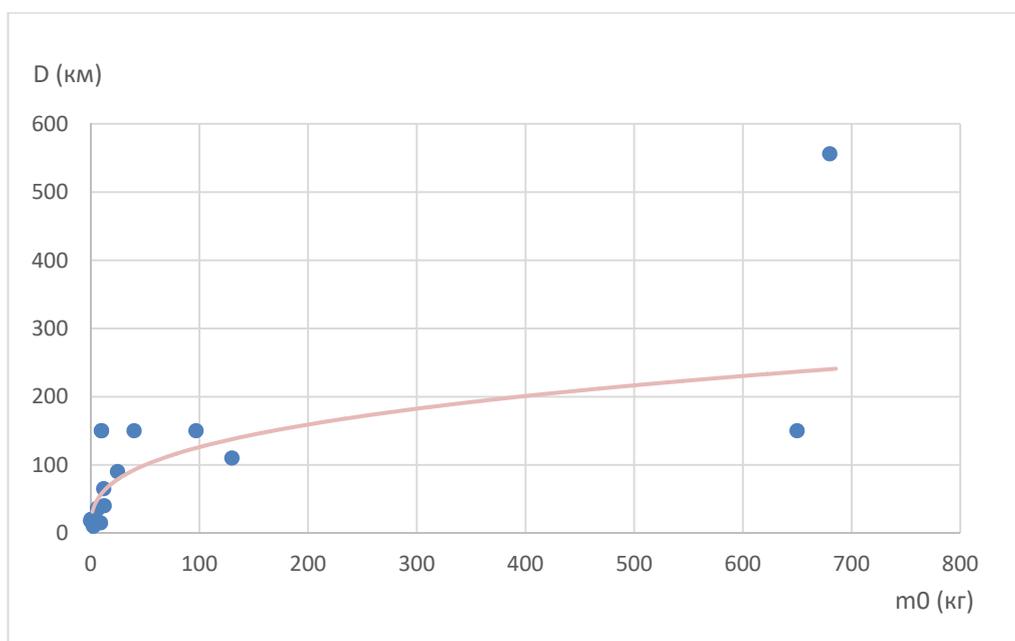
Рассмотрев различные БПЛА, работающие в составе группы, можно построить зависимости массы аппаратов от количества аппаратов в группе (рис. 2) и дальности в зависимости от массы аппарата (рис. 3), а также зависимость массы полезной нагрузки от стартовой массы аппарата (рис. 4).

При оценке вероятностей преодоления средств противодействия противника широко применялась информация, представленная в работах С.И. Макаренко, А.В. Тимошенко,

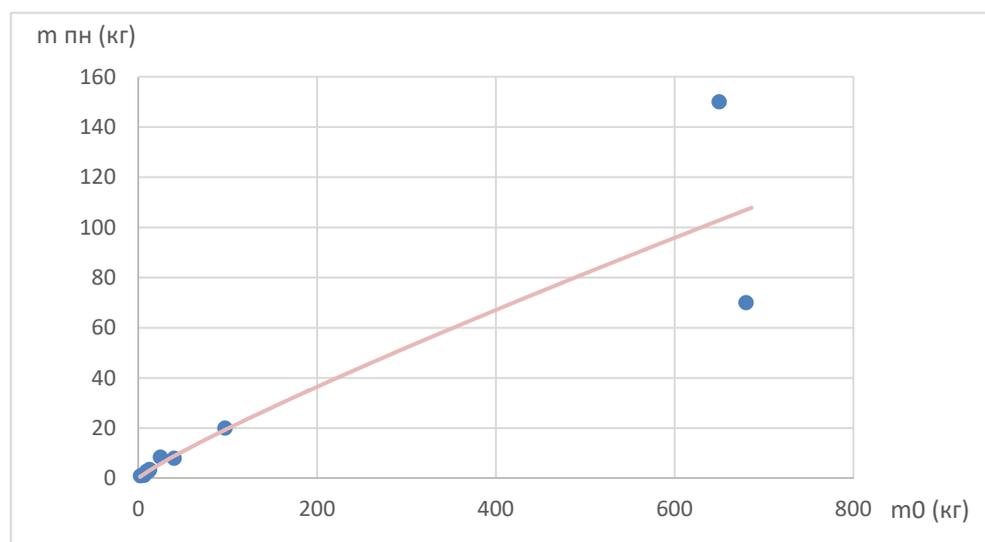
А.С. Васильченко [1, 5], где рассматриваются вопросы противодействия БПЛА, в том числе БПЛА, работающим в составе группы и эффективность преодоления средств противодействия.

Вопросы изучения эффективности, живучести средств ПВО в противостоянии БПЛА были рассмотрены в работах В.В. Ростопчина, С. Аминова, Д.В. Лопаткина и С.В. Шишкова. Впрочем, большинство этих работ посвящено отдельным частным аспектам теоретических исследований вышеуказанных вопросов и не отражает реального изменения тактики применения БПЛА за 2018–2020 гг. в военных противостояниях данного периода. Оценка эффективности применения групп БПЛА в период 2018–2020 гг. приведена в аналитической работе [6], из которой следует, что в условиях массированного применения БПЛА имеет место неадекватно низкий уровень боевой живучести зенитных ракетных пушечных комплексов (ЗРПК). Это показывает, что применение групп БПЛА оправданно при относительно низкой стоимости аппаратов.

Оценка эффективности комплексов с БПЛА рассмотрена в работе специалистов



**Рис. 3.** Зависимость дальности полета от массы БПЛА, работающего в составе группы  
**Fig. 3.** Dependence of a flight range on the UAV mass operating in a group



**Рис. 4.** Зависимость массы полезной нагрузки от стартовой массы БПЛА  
**Fig. 4.** Dependence of the payload mass on the UAV launch mass

из академии им. Н.Е. Жуковского [7], где приведены основные операции по оценке эффективности.

Данные, приведенные в работах, представленных выше, позволяют сделать вывод о том, что применение групп БПЛА имеет высокую эффективность, а также что исследования на эту тему достаточно актуальны в настоящее время.

## Целевые объекты применения

Решение задачи определения основных проектных параметров необходимо начать с рассмотрения объектов применения и факторов противодействия выполнению операции.

Исходя из анализа существующих БПЛА, работающих в группе, можно выбрать наибо-



Рис. 5. Спутниковые снимки мест размещения средств авиации [8]  
Fig. 5. Satellite images of aviation facilities locations [8]

лее оптимальные критерии разработки этого вида аппаратов (низкая стоимость, малый вес и размеры, высокая маневренность, высокий уровень автоматизации, достаточная дальность полета, позволяющая запустить БПЛА без входа носителя в эффективную зону противодействия противника), что позволит, учитывая необходимую целевую эффективность, заложить базу для разработки методики проектирования.

Постановке задачи создания облика в качестве концептуальной характеристики аппарата предшествует анализ целевых объектов использования группы БПЛА. Основным целевым объектом применения рассматривается поражение площадных наземных и надводных целей, например центров принятия решений, аэродромов, мест расположения ЗРК, живой силы противника, КП управления и связи (административные здания и сооружения), мостов и путепроводов, крупных железнодорожных узлов, промышленных сооружений, предприятий топливно-энергетического комплекса (гидроэлектростанции, ТЭЦ, атомные электростанции и нефте- и газопроводы и т. д.), различных кораблей, в частности взлетно-посадочные палубы авианосцев. Поражение таких объектов осуществляется в рамках общей задачи по подрыву военно-экономического потенциала противника, как правило, в ходе выполнения первых воздушных опера-

ций и последующих боевых действий. Для каждого случая рассмотрим типовую обстановку и характеристики средств противодействия. В качестве дополнительных сценариев могут выступать поражение предприятий оборонной и химической промышленности. Не стоит забывать, что, кроме основного сценария, необходимо предусмотреть возможности выполнения других задач. Для этого можно рассматривать применение сменных комплектов целевых нагрузок, например средств обнаружения подводных лодок.

Из анализа целевых объектов определяются параметры эффективности операции, количество аппаратов в группе, потребная эффективность одного аппарата, дальность развертывания группы, масса и размер целевых грузов.

Рассмотрим поражение аэродромов и мест размещения авиации противника.

Наиболее уязвимыми при поражении аэродромов являются взлетно-посадочные полосы, открытые склады с горючим, топливозаправочные системы и открыто расположенные летательные аппараты. Их внешний вид представлен на рис. 5.

При планировании операции стоит учитывать многоуровневые средства защиты подобных объектов, такие как средства ПВО и РЭБ. Средства ПВО подробно рассмотрены далее.

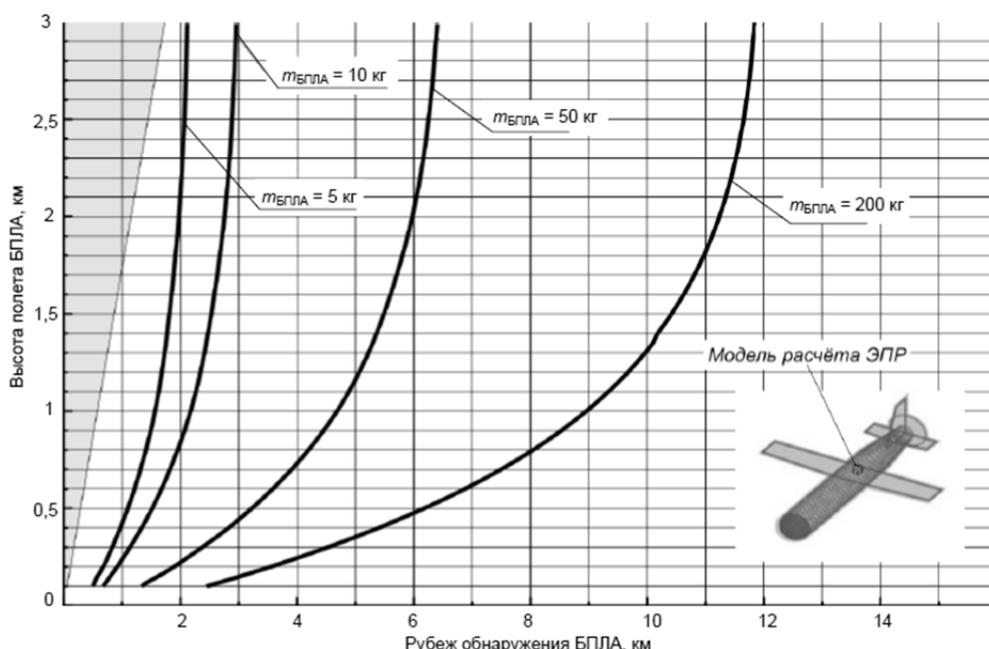


Рис. 6. Дальности обнаружения БПЛА для РЛС с  $\lambda = 3$  см в зависимости от массы и габаритов [1]  
Fig. 6. UAV detection range for a radar system with  $\lambda = 3$  cm depending on the mass and dimensions [1]

В качестве средств обнаружения и борьбы могут быть рассмотрены средства обнаружения БПЛА (Mobile complex for detecting and protecting against unmanned aerial vehicles) предназначенные для автоматического обнаружения и идентификации радиосигналов БПЛА с характеристиками, приведенными в работе<sup>3</sup>.

Средства подавления обеспечивают создание пространственных барьеров от проникновений БПЛА на территорию объекта, обнаружив радиосигналы БПЛА, а затем устанавливая помехи в диапазоне частот управления каналами и (или) выбором оператора навигации сигналов: Beidou/Galileo/Glonass/GPS<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Мобильная система обнаружения беспилотных летательных аппаратов «снегирь» [Электронный ресурс] // Военно-технический сборник «Бастион»: журнал оборонно-промышленного комплекса. URL: <http://bastion-karpenko.ru/snegir-antibla/> (дата обращения: 04.01.2022).

<sup>4</sup> Мобильный комплекс обнаружения и защиты от беспилотных летательных аппаратов «скворец» [Электронный ресурс] // Военно-технический сборник «Бастион»: журнал оборонно-промышленного комплекса. URL: <http://bastion-karpenko.ru/skvorec-antibla/> (дата обращения: 04.01.2022).

В работе [1] приводятся дальности обнаружения малоразмерных БПЛА с помощью радиолокационных станций (РЛС) различного диапазона при различных показателях эффективной площади рассеяния (ЭПР):

для РЛС метрового диапазона:

- 8–14 км для БВС с ЭПР около  $0,1 \text{ м}^2$ ;
- 0,1–1,5 км для БВС с ЭПР около  $0,01 \text{ м}^2$ ;

для РЛС дециметрового диапазона:

- 9–16 км для БВС с ЭПР около  $0,1 \text{ м}^2$ ;
- 0,8–2 км для БВС с ЭПР около  $0,01 \text{ м}^2$ ;

для РЛС СВМ-диапазона:

- 12–25 км для БВС с ЭПР около  $0,1 \text{ м}^2$ ;
- 1,4–2,8 км для БВС с ЭПР около  $0,01 \text{ м}^2$ .

На рис. 6 представлены теоретические дальности обнаружения типового БПЛА (параметры массы и габаритов определены на основе обработки статистических данных) для РЛС с длиной волны  $\lambda = 3$  см, представленные в работе [1]. Диапазон ЭПР для исследуемых БПЛА составил  $0,05\text{--}0,5 \text{ м}^2$ .

В качестве основных средств поражения БПЛА выступают средства артиллерийского огня. Эти средства считаются наиболее перспективными против малогабаритных БПЛА в качестве перекрытия «мертвых зон» ракетных вооружений ЗРК ПВО [1].

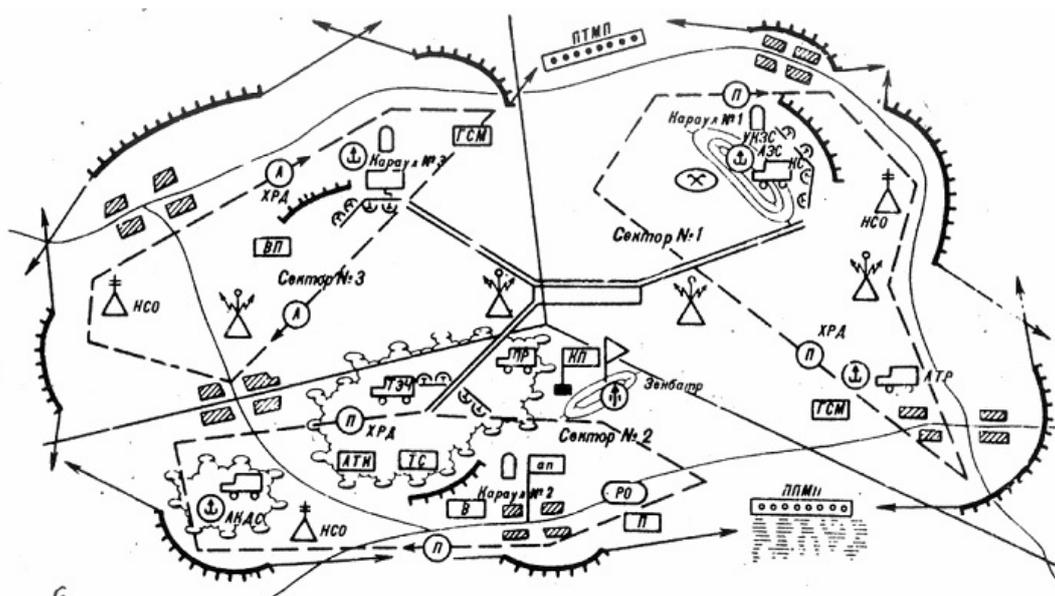


Рис. 7. Схематическое представление наземной обороны аэродрома<sup>1</sup>:

П – пеший; НО – начальник наземной обороны; НСО – начальник сектора наземной обороны; ПР – подвижный резерв; А – автомобильный; ХРД – химический разведывательный дозор; ПТМП – противотанковое минное поле; ППМП – противопехотное минное поле

Fig. 7. Layout of the airfield ground defense<sup>5</sup>:

П – dismounted; НО – ground defense officer-in-charge; НСО – ground defense sector officer-in-charge; ПР – mobile reserve; А – automobile; ХРД – chemical reconnaissance patrol; ПТМП – anti-tank minefield; ППМП – anti-personnel minefield

Вероятность поражения артиллерийскими снарядами БПЛА  $P_{\text{пор}}$  может быть оценена по следующей формуле [1]:

$$P_{\text{пор}} = 1 - (1 - P_{\text{поп}} P_{\text{пор1}})^N, \quad (1)$$

где  $P_{\text{поп}}$  – вероятность попадания снаряда в область гарантированного поражения БПЛА;

$P_{\text{пор1}}$  – вероятность поражения БПЛА одним снарядом;

$N$  – количество снарядов, выпущенных по БПЛА.

По данным работы [9], вероятность поражения БПЛА с ЭПР не менее  $0,5 \text{ м}^2$  российскими зенитными артиллерийскими комплексами (ЗАК) и ЗРПК составляет  $P_{\text{пор}} = 0,6 \dots 0,9$ .

В качестве носителя группы аппаратов рассматривается применение колесного шасси, оснащенного пусковым оборудованием. Шасси доставляет группу аппаратов в точку старта, при этом не входит в зону обнаружения. Для определения безопасной зоны рас-

смотрим средства наземной обороны аэродромов.

Согласно работе [10], охранная и оборонная деятельность каждого аэродрома строится на основе общей охранной и оборонной системы тыла фронта и осуществляется по принципу гарнизона. Защита аэродрома от ударов воздушных средств противника выполняется в единой системе ПВО фронта.

Наземная оборона на рис. 7 формируется круговой и эшелонированной в глубину. Основной ее задачей является сохранение подходов к аэродрому – это дороги, благоприятные для боевых участков территории, а также защита основных объектов периферии [11].

Из автоматизированных средств обнаружения, представленных в работе<sup>5</sup>, интерес представляют следующие виды средств обнаружения:

<sup>5</sup> Построение системы охраны аэропорта [Электронный ресурс]//URL: <https://www.fgup-ohrana.ru/upload/iblock/7ce/7ce44c2209c3a92c7c7e6edac0cfabc8.pdf> (дата обращения: 16.01.2022).

- волоконно-оптические средства обнаружения;
- сейсмические средства обнаружения;
- радиоэлектронные средства обнаружения (позволяют проводить обнаружение, а также распознавание как подвижных, так и неподвижных целей на расстоянии до 15 км).

Вероятность обнаружения диверсионной разведывательной группы (ДРГ) днем оценивается как 0,6–0,7, а ночью как 0,2–0,3 [12], что может быть использовано при оценке вероятности обнаружения носителя. Таким образом, наиболее оптимальным вариантом с точки зрения общей вероятности поражения заданного объекта является запуск БПЛА с носителя без вхождения в зону обнаружения.

Носимые РЛС могут производить обнаружение цели в виде одиночно движущегося человека с вероятностью 0,8 на дальности 7–8 км, а РЛС гранатометов (пулеметов), в случае отсутствия прямого наблюдения, обеспечивают огонь по обнаруженным целям с высокой эффективностью. Результаты стрельб гранатомета АГС-17 с радиолокационным прицелом «Фара-ВР» показывают, что вероятность поражения групповой цели на расстоянии 800 м составляет 0,88, а на расстоянии 1200 м вероятность составляет 0,6 [12].

Совместное применение средств обнаружения и охранного оборудования совместно с инженерными заграждениями увеличивает вероятность обнаружения противника в условиях ограничений видимости до 0,85–0,9 [12].

Что касается поражения взлетно-посадочных палуб авианесущей группировки, можно отметить, что БПЛА могут нанести частичное поражение как ЛА, находящимся на палубе, так и взлетно-посадочной полосе авианосца, что приведет к временной потере работоспособности группы.

Из результатов обработки статистических данных по боевым иностранным надводным кораблям, погибшим в военных конфликтах последнего времени, наиболее тяжелые последствия вызывает пожар на авианосцах. В практике эксплуатации авианосцев имели место следующие случаи: в результате пожара на авианосце ВМС США «Орискани» по-

гибло 44 человека, 41 получил ранения; на авианосце ВМС США «Форрестол» произошел пожар при проведении маневров в Тонкинском заливе, в результате чего 134 человека погибли, 62 были ранены, вышло из строя 26 палубных самолетов. Авианосец был выведен из состава флота [13].

Доставку БПЛА к месту старта может осуществлять с помощью быстроходного автоматизированного катера.

В составе корабельных групп различного назначения структурно можно выделить два элемента: основные силы и силы охранения, основной задачей которых является защита главных сил группировки в порядке от ракетных ударов авиации (авиационных ракет), подводных лодок и кораблей. Корабли охранения занимают свои места в порядке с расчетом максимального противодействия ударам по главному объекту. Это обеспечивается эшелонированным построением охранения и его эффективными действиями в реальной обстановке [13].

Боевое использование кораблей осуществляется в составе группировок различного назначения. Соотношение между типами кораблей в каждом классе группировок определяется решаемыми боевыми задачами. Скорость движения группировок при переходе составляет 30...45 км/ч, а при выполнении боевых задач – до 55...65 км/ч [13].

Авианосная многоцелевая группа (АМГ) является главной ударной силой и предназначена для уничтожения сил флота, наземных и береговых промышленных центров и объектов военного назначения, поддержки сухопутных войск, нарушения коммуникации и защиты океанских и морских путей сообщения.

На кораблях АМГ размещаются более 20 РЛС различного назначения, гидроакустические, оптико-электронные и оптико-визуальные средства. Они позволяют обнаруживать воздушные цели на расстоянии до 500 км, надводные корабли до 100 км с точностью до 50 м [10].

При известной дальности обнаружения ЛА с ЭПР  $\sigma_p = 1 \text{ м}^2$  дальность обнаружения цели может быть определена по следующей формуле [13]:

$$D_{\text{обн}} = D_{\text{обн}(1\text{м}^2)} \cdot \sqrt[4]{\sigma_p} \quad (2)$$

При этом дальность обнаружения цели с ЭПР  $\sigma_p = 1 \text{ м}^2$  примем за 600 км [13].

Для срыва наведения телевизионных средств наведения на корабле используются аэрозольные (дымовые) завесы, которые могут быть поставлены в течение 1 с.

При этом, если рассматривать наведение на подвижную цель, группа аппаратов выдвигается в расчетное место цели, как представлено на схеме, изображенной на рис. 8, что увеличивает вероятность обнаружения цели.

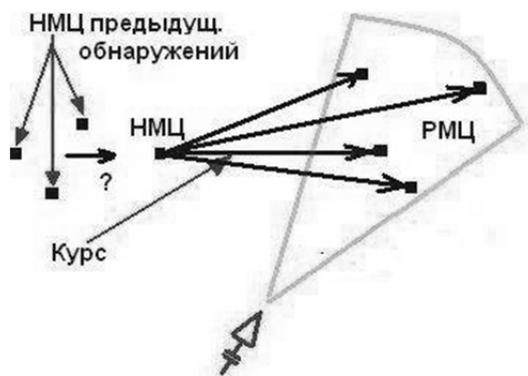


Рис. 8. Пример поражения движущейся цели [14]: НМЦ – начальное место цели; РМЦ – расчетное место цели

Fig. 8. Example of moving target engagement [14]: НМЦ – initial target location; РМЦ – estimated target location

Залп множества групп БПЛА, представленный на рис. 9, может обеспечивать в случае низкой точности координат НМЦ, РМЦ и т. д. поражение своих целей большей частью БПЛА. В связи с тем что в группе происходит обмен данными, часть БПЛА успеет выполнить маневр и изменить курс в сторону целей, не обнаруженных системой поиска.

Далее подробно остановимся на поражении мест размещения средств ПВО и их противодействии. Согласно [1] в основном современные ЗРК ограничены в случаях ведения обстрела воздушных целей на высотах полета до 1 км и скорости менее 100 м/с. Также при приеме отраженных сигналов от

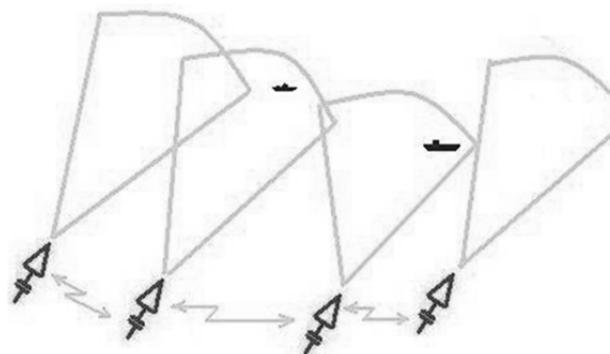


Рис. 9. Пример залпа множества групп БПЛА [15]

Fig. 9. Example for a salvo of a UAV groups variety [15]

малоскоростных небольших аппаратов не исключено их попадание в стробы для защиты РЛС от пассивных помех и неподвижных предметов, тогда БПЛА оказывается неразличимым для РЛС.

В качестве типового места размещения средства ПВО рассмотрена позиция ЗРК PATRIOT (MIM-104).

Состав комплекса приведен в<sup>6</sup>. Оттуда же рассмотрим основные характеристики комплекса. В нашем случае особо стоит выделить следующие характеристики: дальность обнаружения цели с ЭПР  $0,1 \text{ м}^2$  менее 70 км, комплекс может одновременно сопровождать до 125 целей, производит наведение до 6 ракет. Время обнаружения составляет 8–10 с, минимальная высота поражения цели составляет 0,06 км. Вероятность поражения БПЛА одной ракетой в отсутствие помех заявляется от 0,6 до 0,8.

При этом согласно исследованиям, приведенным в [1], теоретические значения эффективности применения штатных ПВО для поражения одиночных беспилотных аппаратов одной очередью, одним ствольным оружием или одним ракетным оружием ПЗРК или ЗРК, учи-

<sup>6</sup> Пэтриот [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%8D%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BE%D1%82> (дата обращения: 20.06.2021).

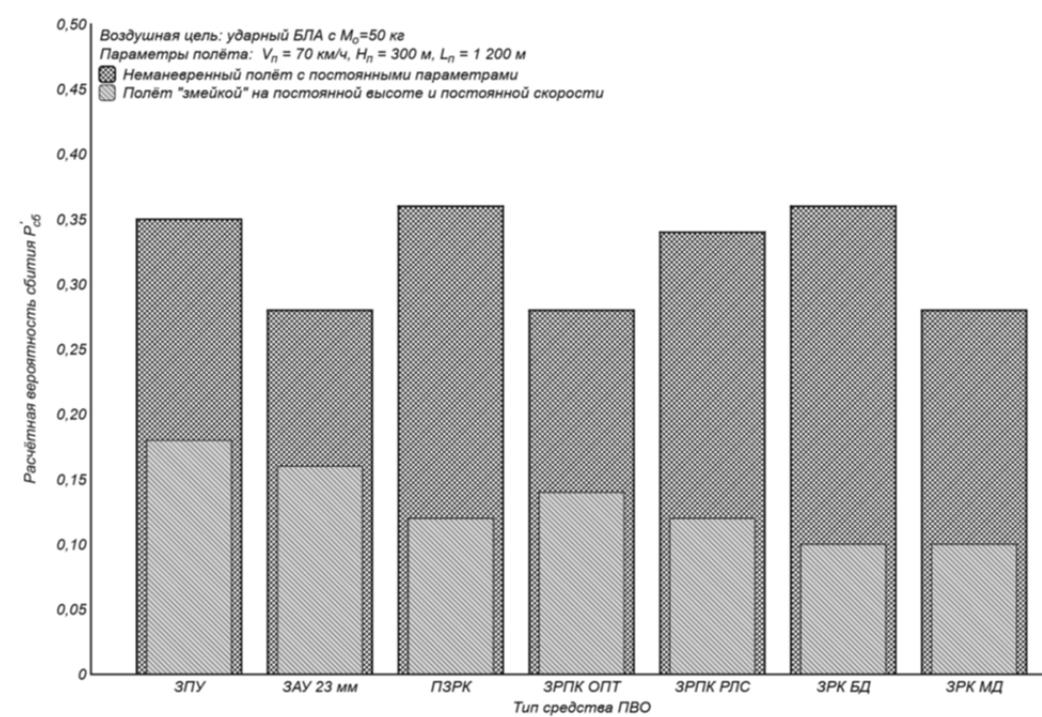


Рис. 10. Теоретические вероятности уничтожения БПЛА стандартными средствами противовоздушной обороны [16]:

БПЛА – беспилотный летательный аппарат; ПВО – противовоздушная оборона;  
 ЗПУ – зенитная пулеметная установка; ЗАУ – зенитная артиллерийская установка;  
 ПЗРК – переносные зенитные ракетные комплексы; ЗРПК ОПТ – зенитный ракетный пушечный комплекс с оптическими средствами наведения; ЗРПК РЛС – зенитный ракетный пушечный комплекс с радиолокационными средствами наведения;  
 ЗРК БД – зенитный ракетный комплекс большой дальности;  
 ЗРК МД – зенитный ракетный комплекс малой дальности

Fig. 10. Theoretical probabilities of defeating UAV using conventional weapons of air defense [16]:

БПЛА – unmanned aerial vehicle; ПВО – air defense;  
 ЗПУ – anti-aircraft machine gun; ЗАУ – anti-aircraft gun mount;  
 ПЗРК – man-portable air-defense systems; ЗРПК ОПТ – anti-aircraft missile and gun system with optical guidance;  
 ЗРПК РЛС – anti-aircraft missile and gun system with radar guidance;  
 ЗРК БД – anti-aircraft missile system of long range;  
 ЗРК МД – anti-aircraft missile system of short range

тывая влияние маневрирования БПЛА, приведены на рис. 10. Здесь поражение – это событие, по которому БПЛА в результате внешнего воздействия оказывается в нерабочем состоянии. При этом принимается, что вероятности обнаружения цели  $P_{обн} = 1$ , помех нет.

Наличие тепловых следов для ПЗРК может несколько увеличить вероятность попадания в воздушную цель, но активное маневрирование может свести на нет увеличение заметности [1].

Из работы [8] следует, что средняя величина вероятности поражения одиночной воздушной цели средствами ЗРПК  $P_{пор} \approx 0,26$ .

## Заключение

В статье рассмотрены различные аппараты, работающие в составе группы. Их анализ позволил представить статистические зависимости массы БПЛА от количества аппаратов в группе, дальности полета от массы аппаратов и массы полезной нагрузки от стартовой массы.

Рассмотрены целевые объекты применения и факторы противодействия выполнению операции. Это в дальнейшем позволит заложить основу для определения вероятностей

выполнения операции, а также позволит провести оценку требований к проектированию аппаратов.

Данные, представленные в статье, могут быть использованы для подготовки исходных данных при моделировании и исследовании боевой эффективности и эффективности преодоления средств противодействия противника беспилотными летательными аппаратами, работающими в составе групп, а также конструкторам, проектирующим БПЛА, работающие в группах.

## Список литературы

- 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. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10105
- 2. Лопаткин Д.В., Анисимов И.В., Матвеев Д.С.** Элементы боевых систем. Вопросы управления в групповом применении беспилотной авиации // Армейский сборник. Военная теория. 2014. № 7 (241). С. 36–37.
- 3. Richardson J.** The coming drone swarm. Swarming UAVs demonstrate enormous attack potential. But the technology still needs to be proven and trusted [Электронный ресурс] // Defence Procurement International. 2017. 16 February. URL: <https://www.defenceprocurementinternational.com/features/air/drone-swarms> (дата обращения: 30.04.2022).
- 4. Карпенко А.В.** Малогабаритный ударный беспилотный летательный аппарат switchblade (США) [Электронный ресурс] // НЕВСКИЙ БАСТИОН. URL: <http://nevskii-bastion.ru/switchblade-usa/> ВТС (дата обращения: 30.04.2022).
- 5. Макаренко С.И., Тимошенко А.В.** Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 2. Огневое поражение и физический перехват // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 147–197. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10106.
- 6. Афонин И.Е.** Анализ опыта боевого применения групп беспилотных летательных аппаратов для поражения зенитно-ракетных комплексов системы противовоздушной обороны в военных конфликтах в Сирии, в Ливии и в Нагорном Карабахе / И.Е. Афонин, С.И. Макаренко, С.В. Петров, А.А. Привалов // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 4. С. 163–191. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10406
- 7. Осипов Ю.Н., Ершов В.И., Иванов А.В.** Проблемы выбора рационального типа и оснащения комплексов с БЛА // Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами: сборник статей и докладов ежегодной научно-практической конференции, г. Коломна, 2016. С. 211–216.
- 8. Линник С.** Система ПВО НАТО в Европе. Часть 2-я [Электронный ресурс] // Военное обозрение. Армии мира. 25 июля 2016. URL: <https://topwar.ru/98346-sistema-pvo-nato-v-evrope-chast-2-ya.html> (дата обращения: 28.01.2022).
- 9. Лопаткин Д.В., Савченко А.Ю., Солоха Н.Г.** К вопросу о борьбе с тактическими беспилотными летательными аппаратами // Военная мысль. 2014. № 2. С. 41–47.
- 10. Поздняков А.В., Каргапольцев А.А., Губарев С.А.** Тактика военно-воздушных сил: учеб. пособие [Электронный ресурс] // М.: ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», 2015. URL: <https://files.mai.ru/site/unit/institute-of-military-science/tvvs/data/g2/2-3-5.html> (дата обращения: 16.01.2022).
- 11. Еремин Н.А.** Методика выбора предпочтительного варианта облика самолета на этапе завязки проекта [Электронный ресурс] // Труды МАИ. 2011. № 46. 11 с. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=26043> (дата обращения: 30.04.2022).
- 12. Сафонов Г.Н.** Повышение эффективности охраны и наземной обороны аэродромов базирования авиации / Г.Н. Сафонов, В.Ю. Фалилеев, В.В. Белоножкин, С.В. Мит-

рофанова // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2020. № 15. С. 25–32.

13. Гусейнов А.Б. Внешнее проектирование крылатых ракет: Обоснование тактико-технических требований: учеб. пособие. М.: Изд-во МАИ, 2015. 96 с.

14. Тимохин А. Морская война для начинающих. Проблема целеуказания [Электронный ресурс] // Военное обозрение. Флот. 26 октября 2020. URL: <https://topwar.ru/176421-morskaja-vojna-dlja-nachinajuschih-problema-celeukazaniya.html> (дата обращения: 28.01.2022).

15. Паньков С.Я., Зубарев Ю.Е., Матвеев А.М. Теория и методика управления авиацией: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / Под общ. ред. В.А. Мещерякова. Ульяновск: УВАУ ГА, 2006. 190 с.

16. Ростопчин В.В. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния [Электронный ресурс] // Беспилотная авиация. 2019. URL: [https://www.researchgate.net/publication/331772628\\_Udarnye\\_bespilotnye летательные аппараты\\_i\\_protivovozdusnaa\\_oborona\\_-\\_problemy\\_i\\_perspektivy\\_protivostoania](https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye летательные аппараты_i_protivovozdusnaa_oborona_-_problemy_i_perspektivy_protivostoania) (дата обращения: 28.01.2022).

## References

1. Makarenko, S.I., Timoshenko, A.V., Vasilchenko, A.S. (2020). Counter unmanned aerial vehicles. Part 1. Unmanned aerial vehicle as an object of detection and destruction. *Systems of Control, Communication and Security*, no. 1, pp. 109–146. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10105 (in Russian)

2. Lopatkin, D.V., Anisimov, I.V., Matveev, D.S. (2014). Elements of combat systems. Management issues in the group use of unmanned aircraft. *Collected Army Issues*, no. 7 (241), pp. 36–37. (in Russian)

3. Richardson, J. (2017). The coming drone swarm. Swarming UAVs demonstrate enormous attack potential. But the technology still needs to be proven and trusted. *Defence Procurement International*, 16 February. Avail-

able at: <https://www.defenceprocurementinternational.com/features/air/drone-swarms> (accessed: 30.04.2022).

4. Karpenko, A.V. Small strike unmanned aerial vehicle switchblade (USA). *NEVSKY BASTION*. Available at: <http://nevskii-bastion.ru/switchblade-usa/> BTC (accessed: 30.04.2022). (in Russian)

5. Makarenko, S.I., Timoshenko, A.V. (2020). Counter unmanned aerial vehicles. Part 2. Rocket and artillery fire, physical interception. *Systems of Control, Communication and Security*, no. 1, pp. 147–197. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10106 (in Russian)

6. Afonin, I.E., Makarenko, S.I., Petrov, S.V., Privalov, A.A. (2020). Analysis of combat experience as groups of unmanned aerial vehicles are used to defeat anti-aircraft missile means of the air defense system in Syria, Libya and Nagorno-Karabakh wars. *Systems of Control, Communication and Security*, no. 4, pp. 163–191. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10406 (in Russian)

7. Osipov, Yu.N., Ershov, V.I., Ivanov, A.V. (2016). Problems of choosing a rational type and equipping complexes with UAVs. *Perspektivy razvitiya i primeneniya kompleksov s bespilotnymi летательными аппаратами: сборник статей и докладов yezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Kolomna, pp. 211–216. (in Russian)

8. Linnik, S. (2016). NATO air defense system in Europe. Part 2. *Voyennoye obozreniye. Armii mira*, July 25. Available at: <https://topwar.ru/98346-sistema-pvo-nato-v-evrope-chast-2-ya.html> (accessed: 28.01.2022). (in Russian)

9. Lopatkin, D.V., Savchenko, A.Yu., Solokha, N.G. (2014). On the question of struggle against UAVs. *Voennaya Mysl'*, no. 2, pp. 41–47. (in Russian)

10. Pozdnyakov, A.V., Kargapoltsev, A.A., Gubarev, S.A. (2015). Air Force Tactics: Tutorial. Moscow: FGBOU VO "MIREA – Rossiyskiy tekhnologicheskiiy universitet" Taktika Voyenno-Vozdushnykh Sil. Available at: <https://files.mai.ru/site/unit/institute-of-military-science/tvvs/data/g2/2-3-5.html> (accessed: 16.01.2022). (in Russian)

**11. Eremin, N.A.** (2011). Method of aircraft appearance preferred embodiment selection at the pilot project of preliminary design. *Trudy MAI*, no. 46, 11 p. Available at: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=26043> (accessed: 27.02.2022). (in Russian)

**12. Safonov, G.N., Falileev, V.Yu., Belonozhkin, V.V., Mitrofanova, S.V.** (2020). Aerodromes security and ground defense effectiveness improving. *Vozdushno-Kosmicheskiye Sily. Teoriya i Praktika*, no. 15, pp. 25–32. (in Russian)

**13. Guseynov, A.B.** (2015). External design of cruise missiles: Substantiation of tactical and technical requirements: Tutorial. Moscow: Izdatelstvo MAI, 96 p. (in Russian)

**14. Timokhin, A.** (2020). Naval war for beginners. The problem of target designation. *Voennoye obozreniye. Flot*, October 26. Available

at: <https://topwar.ru/176421-morskaja-vojna-dlja-nachinajuschih-problema-celeukazaniya.html> (accessed: 28.01.2022). (in Russian)

**15. Pankov, S.Ya., Zubarev, Yu.E., Matveev, A.M.** (2006). Theory and methods of aviation management: Tutorial at 2 prt, Part 1, in Meshcheryakov V.A. (Ed.). Ulyanovsk: UVAU GA, 190 p. (in Russian)

**16. Rostopchin, V.V.** (2019). Attack unmanned aerial vehicles and air defense – problems and prospects of confrontation. *Bespilotnaya aviatsiya*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/331772628\\_Udarnye\\_bespilotnye\\_letatelnye\\_apparaty\\_i\\_protivovozdusnaa\\_oborona\\_-problemy\\_i\\_perspektivy\\_protivostoania](https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye_letatelnye_apparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_-problemy_i_perspektivy_protivostoania) (accessed: 28.01.2022). (in Russian)

### Сведения об авторах

**Селин Антон Игоревич**, аспирант кафедры проектирования и прочности авиационно-ракетных и космических изделий Московского авиационного института, [SelinAI@mai.ru](mailto:SelinAI@mai.ru).

**Туркин Игорь Константинович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования и прочности авиационно-ракетных и космических изделий Московского авиационного института, [kafedra\\_602@mail.ru](mailto:kafedra_602@mail.ru).

### Information about the authors

**Anton I. Selin**, Post-graduate student, the Design and Strength of Aerospace and Rocket Products Chair, Moscow Aviation Institute (National Research University), [SelinAI@mai.ru](mailto:SelinAI@mai.ru).

**Igor K. Turkin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Design and Strength of Aerospace and Rocket Products Chair, Moscow Aviation Institute (National Research University), [kafedra\\_602@mail.ru](mailto:kafedra_602@mail.ru).

Поступила в редакцию  
Принята в печать

14.06.2022  
23.03.2023

Received  
Accepted for publication

14.06.2022  
23.03.2023