



УДК 007.52.
ГРНТИ 78.25.13

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ СОВРЕМЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*А.Е. ГРИЦЕНКО, кандидат технических наук, доцент
Главный научно-технический испытательный центр робототехники МО РФ (г. Москва)
С.И. СЛИНИН, кандидат технических наук
Главный научно-технический испытательный центр робототехники МО РФ (г. Москва)
В.И. РУБИНОВ, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье рассматривается вопрос о необходимости применения средств защиты для современных воздушных робототехнических комплексов военного назначения. Проанализированы различные варианты выполнения противоракетных маневров с целью срыва атак противника. Выполнен сравнительный анализ противоракетных маневров для определения минимальных размеров зон возможных пусков авиационных управляемых ракет в случае их атаки по воздушным робототехническим комплексам на основе имитационного моделирования.

Ключевые слова: воздушный робототехнический комплекс военного назначения, противоракетный маневр уклонения, зона возможных пусков управляемых ракет.

TO THE QUESTION OF THE PROTECTION SYSTEMS DEVELOPMENT NECESSITY FOR MODERN MILITARY AIRBORNE ROBOTIC SYSTEMS

*A.E. GRITSENKO, Candidate of Technical sciences, Associate Professor
The robotics main scientific and technical testing center of Ministry of Defence of the Russian Federation (Moscow)
S.I. SLININ, Candidate of Technical sciences
The robotics main scientific and technical testing center of Ministry of Defence of the Russian Federation (Moscow)
V.I. RUBINOV, Candidate of Technical sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The article discusses the need for the use of protective equipment for modern air robotic systems for military purposes. Various variants of anti-missile maneuvers to disrupt enemy attacks are analyzed. A comparative analysis of anti-missile maneuvers to determine the minimum size of the aircraft guided missiles possible launches zones in the event of their attack on the airborne robotic complexes on the basis of simulation is performed.

Keywords: military airborne robotic complex, anti-missile evasion maneuver, guided missiles possible launches zone.

Введение. Опыт боевого применения всех видов беспилотной авиации в локальных конфликтах подтвердил высокую эффективность беспилотных разведчиков, ударных, специальных и транспортно-обеспечивающих видов воздушных робототехнических комплексов военного назначения (ВРТК ВН). Дальнейшее развитие и расширение функциональных возможностей ВРТК ВН видится в повышении автономности робототехнических комплексов, увеличении дальности действия, в повышении помехозащищенности каналов управления и связи, совершенствовании систем технического зрения, решении проблем автоматического распознавания целей, анализе сцен и ситуаций, в



опознавании по принципу «свой-чужой», а также групповом применении РТК, в том числе совместно со штатными (экипажными) воздушными судами [1].

Актуальность. Наибольшее развитие автономное управление получило в разведывательных ВРТК ВН. Так достигнутый уровень автономности действий при выполнении разведывательных задач наиболее полно демонстрируют американские разведывательные беспилотные летательные аппараты (БЛА) тяжелого класса типа «Global Hawk», имея взлетную массу 14500 кг при полезной нагрузке в 1300 кг, могут оставаться в воздухе 36 часов, покрывая за это время 22000 км [2]. На сегодняшний момент это есть абсолютный мировой рекорд продолжительности полетов для военных воздушных роботов.

Под стать этому рекорду и стоимость самого воздушного робота, которая по разным оценкам достигает 140 млн. долларов США [2]. Указанная стоимость одного образца БЛА «Global Hawk» сопоставима со стоимостью многих современных военных экипажных истребителей четвертого и пятого поколений. Так, стоимость F/A-18 «Hornet» в различных модификациях составляет 94–105 млн. долларов США, а истребителя пятого поколения F-35 «Lightning II» колеблется в пределах 122–158 млн. долларов США [3, 4].

Сравнительная стоимость лучших зарубежных образцов ВРТК ВН и дальности их боевого применения представлены на рисунке 1, где все образцы БЛА производства США, кроме БЛА «Eitan».

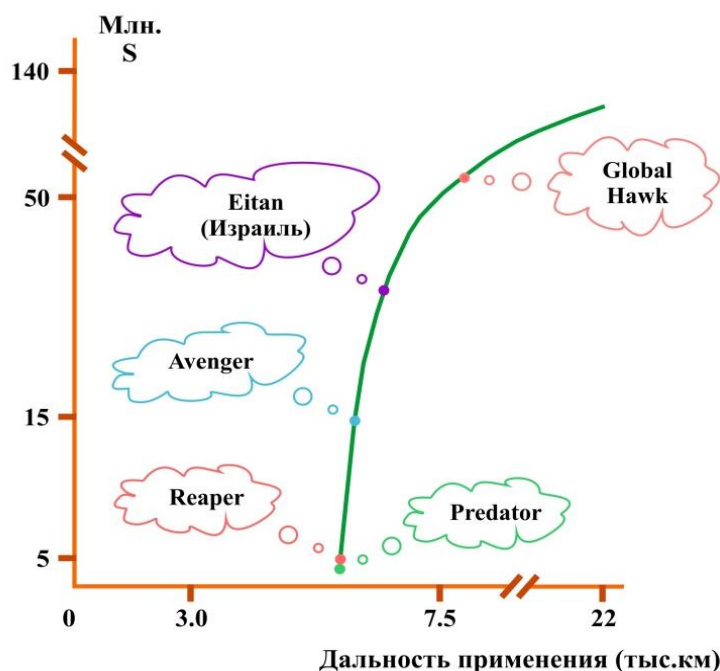


Рисунок 1 – Сравнительная стоимость и дальность боевого применения зарубежных образцов ВРТК ВН

Анализ средств защиты от нападения противника. В общем случае, средства защиты от нападения воздушного противника подразделяются на два класса – это активные и пассивные [5].

К пассивным средствам защиты от нападения воздушного противника относятся:
 постановка широкополосных помех радиолокационным (РЛ) станциям (выброс дипольных отражателей и т.п.);

постановка помех иным техническим средствам обнаружения противника (создание аэрозольных защитных дымов и т.п.);

снижение РЛ заметности объекта до уровня фона шумовых помех за счет покрытия поверхности БЛА специальными радиопоглощающими материалами;



установка рабочих поверхностей корпуса БЛА под определёнными углами наклона; бронирование и маскировка (окраска) важных подсистем объекта защиты (БЛА).

К активным средствам противодействия относят:

постановка целевых РЛ помех (на определенной частоте) РЛ станциям обнаружения и сопровождения целей противника;

использование инфракрасных и РЛ прицепных ловушек;

выполнение защитных противоракетных (ПР) маневров и пр.;

разработка специальных алгоритмов для выполнения объектом защиты ПР маневров.

Приведем пример использования различных средств защиты от атак противника на разведывательном БЛА тяжелого класса «Global Hawk», который оборудуется комплексом AN/ALR-89 компании Raytheon, включающим систему предупреждения о лазерном облучении AN/AVR-3, приемник предупреждения об РЛ облучении AN/APR-49 и систему постановки помех. Кроме того, против вражеской воздушной обороны беспилотник использует прицепную ловушку ALE-50 [3].

Проведенный анализ методов и средств защиты ВРТК ВН показал, что по сравнению с другими средствами (методами) защиты БЛА от действий противника по критериям «эффективность-стоимость» или «эффективность-масса» разработка и применение новых специальных алгоритмов, например, для выполнения объектом защиты ПР маневров является наиболее предпочтительным [8]. Это положение обосновывается фактом, что использование любого из вышеперечисленных методов защиты, подобных используемым в БЛА «Global Hawk», приводит к повышению полной взлетной массы БЛА и к снижению такого важного показателя как уровня технического совершенства военных беспилотников, относительная масса полезной нагрузки, которая заключается в соотношении массы полезной нагрузки ($M_{п.н.}$) к полной взлетной массе военного робота ($M_{взл.}$):

$$\mu = \frac{M_{п.н.}}{M_{взл.}} \quad (1)$$

В качестве примера возможных ПР маневров рассмотрим следующие, как наиболее часто применявшиеся в различных локальных конфликтах экипажными БАК [5]:

боевой разворот;

змейка;

шнек.

Из анализа исключены сложные ПР маневры, характерные российским боевым суперманевренным экипажным БАК, таким как МиГ-29, Су-27, Су-30 и Су-35, колокол, кобра и др., поскольку реализовать алгоритмы формирования этих сложных ПР маневров в бортовой системе управления (БСУ) БЛА будет достаточно затруднительно.

Из выбранных к рассмотрению ПР маневров (боевой разворот, змейка и шнек) оценим возможности каждого из них по возможности реализации в БСУ ВРТК ВН и критерию «максимума промаха» атакующей управляемой ракеты (УР).

Наиболее часто в боевых условиях летчиками различных стран выполнялся ПР маневр «боевой разворот», который наиболее прост в исполнении и имеет некоторые шансы на успешное завершение [5]. Обычно этот маневр выполнялся, когда атакующая УР с тепловой головкой самонаведения (ГСН) находилась уже относительно недалеко от боевого самолета и факт обнаружения атаки УР определялся визуально самим экипажем атакуемого БАК или с подсказки соседнего экипажа, входящего в боевые порядки летно-тактической группы. Бортовые средства обнаружения в этом случае не выдавали сигналов предупреждения экипажу о возможной ракетной атаке, т.к. первоначальное прицеливание и пуск таких УР по атакуемому



БАК выполнялись с использованием оптико-электронных систем, установленных на самолетах противника, что обеспечивает скрытное применение УР с тепловой ГСН.

Еще одним вариантом скрытного применения УР с тепловой ГСН по БАК был запуск УР «земля-воздух» с тепловыми ГСН, к которым относятся переносные зенитные комплексы «Стингер», «Стрела», «Игла» и подвижные средства ПВО типа ЗРК «Стрела-10М3» и др., имеющие указанные УР в составе своего боекомплекта. Запуск таких УР не требовал РЛ/лазерного сканирования воздушного пространства для определения (поиска) воздушных целей. В этих случаях для успешного завершения маневра боевой разворот выполнялся в сторону от приближающейся УР для увеличения угловой скорости вращения линии визирования «самолет-УР» и часто сочетался с резким увеличением скорости БАК за счет применения форсажных и околофорсажных режимов работы двигателя атакуемого самолета для выхода на крайние границы (по дальности) зоны возможных пусков (ЗВП) атакующей ракеты [5].

Эффективность этого маневра в значительной степени зависит от определения времени начала маневра и действий экипажа для ухода от ракетной атаки. Даже незначительные ошибки в определении начала маневрирования и управления тягой двигателя резко снижают эффективность ПР маневра. Поэтому этот маневр сложно поддается формализации и, следовательно, реализации его алгоритмов в бортовой цифровой вычислительной машине (БЦВМ) ВРТК ВН, что исключает его из списка анализируемых ПР маневров.

Для анализа и применения в алгоритмах противодействия ВРТК ВН остаются ПР маневры змейка и шнек, имеющие более регулярные значения управляющих параметров защитных маневров, к которым относятся требуемые значения управляющей перегрузки и угла крена. Кроме того, исследования, проведенные в ряде работ [6] показали, что наиболее эффективными траекториями уклонения от ракетной атаки могут быть такие ПР маневры, угловая скорость вращения линии визирования «УР-БЛА» которых имеет стабильно высокие значения по всей траектории маневра:

$$J = \max M \int_0^{t_k} \text{abs}(\dot{\epsilon}(t)) dt, \quad (2)$$

где M – знак операции математического ожидания; $\text{abs}(\dot{\epsilon}(t))$ – абсолютная угловая скорость вращения линии дальности «УР-БЛА» (линии визирования ГСН ракеты); t_k – полное время выполнения ПР маневра.

Этим требованиям как раз и соответствуют ПР маневры змейка и шнек. Предварительная оценка эффективности указанных маневров ставит на первое место ПР маневр шнек, т.к. траектория маневрирования представляет собой пространственную (трехмерную) фигуру и определяет максимум значения функционала J по формуле 2. Маневр змейка выполняется в плоскости линии визирования «УР-БЛА». В случае, если первоначальные значения высоты полета БЛА и УР совпадают, то этот маневр выполняется в плоскости параллельной поверхности земли. При этом ПР маневр змейка несколько сложнее при его реализации в БЦВМ ВРТК ВН из-за требования формирования знакопеременных управляющих воздействий по перегрузке и крену маневрирующего воздушного робота [8]. Кроме того, при прочих равных условиях завязки воздушного боя показывает меньшее значение максимума промаха УР, по сравнению с ПР маневром шнек [8]. В отличие от ПР маневра змейка маневр шнек представляет собой пространственную фигуру типа расширяющегося по диаметру спирали, при выполнении которого управляющие воздействия по перегрузке и крену слабо изменяются. Ограничивающим условием при этом является значение максимума управляющей перегрузки не более 20 единиц, в отличие от экипажного ЛА, для которого перегрузка не может быть больше 10 единиц с ограничением по времени не более 10 сек. [8].



Определение зон возможных пусков управляемых ракет при маневрировании воздушных робототехнических комплексов военного назначения. Обычно эффективность УР при ее применении по конкретной воздушной цели (ВЦ) оценивается по размерам ЗВП, которая представляет собой область пространства, где должна находиться ВЦ в момент пуска УР для обеспечения ее встречи с целью в зоне поражения БАК. Параметры ЗВП при стрельбе по ВЦ определяются, в основном, техническими возможностями УР и БАК, осуществляющего пуск ракеты, начальными условиями полета УР к цели, наличием помех и другими факторами среди которых важное значение имеет маневрирование ВЦ за время наведения УР.

Для оценки эффективности упомянутых ПР маневров и факторов завязки воздушного боя ВРТК ВН была создана имитационная модель (ИМ) процесса наведения атакующей УР на маневрирующего воздушного робота. Функциональная схема модели представлена на рисунке 2. В основных модулях ИМ «Модель УР», «Блок формирования прогнозируемой траектории БЛА» и «Блок относительного движения «УР-БЛА»» при интегрировании систем дифференциальных уравнений (СДУ) использовался новый модифицированный метод численного интегрирования, разработанный авторами этой статьи для сокращения вычислительных затрат в БЦВМ БЛА [7], который при численном интегрировании СДУ по сравнению с методом Рунге-Кутты третьего порядка точности дает выигрыш в производительности в 2.2÷2.3 раза, что достаточно важно для обеспечения проведения различных вычислений в БЦВМ ВРТК ВН в реальном масштабе времени с учетом массогабаритных ограничений на оборудование БСУ БЛА.

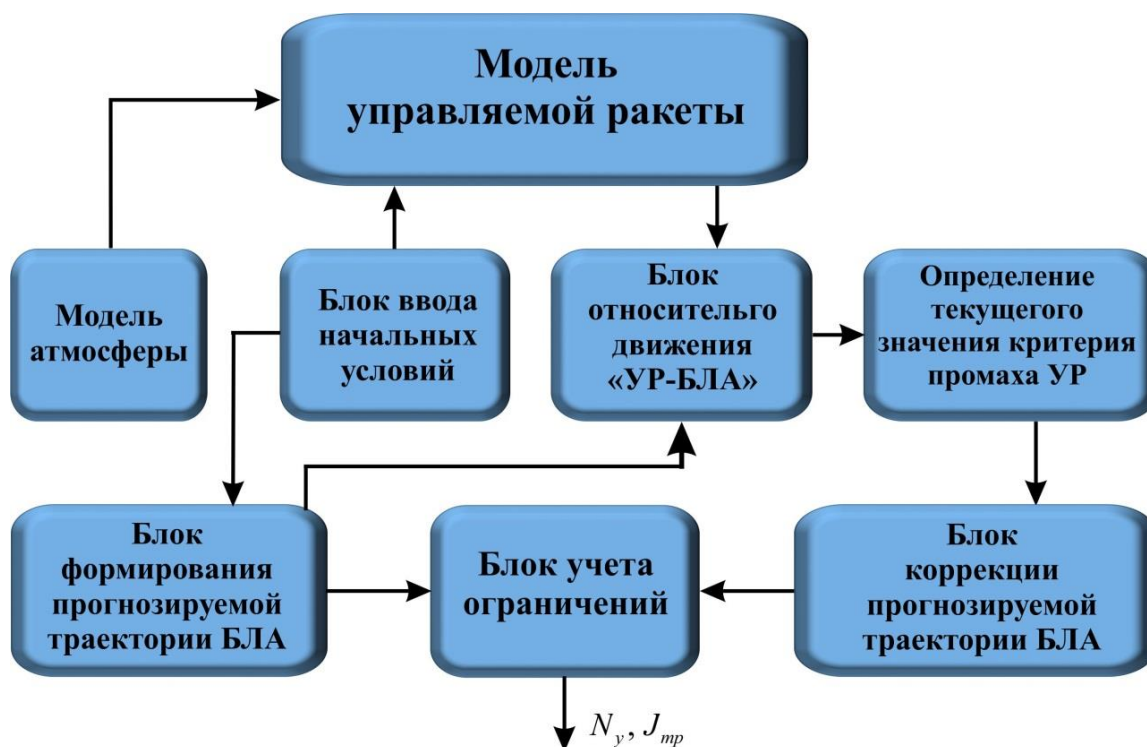


Рисунок 2 – Функциональная схема процесса наведения атакующей УР на ВРТК ВН

При этом возможности каждого из рассматриваемых ПР маневров для противодействия атакам УР противника наиболее полно характеризуются размерами ЗВП, определяемых значениями параметров ПР маневра, техническими характеристиками УР, а также начальным взаимным расположением УР и ВРТК ВН. Начальные исходные данные для всех ПР маневров одинаковы. Исходными данными для проведения имитационного моделирования и последующего формирования ЗВП при выполнении выбранных ПР маневров являлись:



технические характеристики УР AMRAAM-120E;

начальные условия воздушного боя для ВРТК ВН: скорость 180 м/с (650 км/ч) и высота полета в момент старта УР 5000 м; начальные значения углов тангажа и курса БЛА 0;

начальные условия воздушного боя для УР: скорость – 195 м/с (700 км/ч) и высота носителя УР в момент ее старта – 5000 м; начальные значения углов тангажа – 0 и курса носителя на момент пуска УР изменяются по мере расчета ЗВП от 0 до 6.2 рад;

выбранные параметры маневра змейка для РТК ВН (маневр выполнялся в плоскости параллельной поверхности земли) т.к. начальные значения высоты полета ВРТК ВН и УР равны 5000 м; скорость БЛА при выполнении маневра 180 м/с; радиус маневра 700 м при перегрузке в 20 единиц;

параметры маневра шнек представлены на рисунке 3, где по оси абсцисс отражено время выполнения маневра в сек; синей точечной линией отмечено изменение радиуса маневра в метрах; красной пунктирной линией отмечено изменение скорости ВРТК ВН вдоль оси ПР маневра в м/с; фиолетовой штрихпунктирной линией отмечены изменения угла курса в градусах; зеленой сплошной линией показаны изменения угла наклона траектории ВРТК ВН в градусах;

воздушный робот начинал маневр ПР уклонения в момент пуска УР.

Как итог моделирования процессов наведения УР на ВРТК ВН определены ЗВП УР при выполнении ВРТК ВН следующих маневров:

- БЛА не маневрирует;
- выполняется маневр змейка;
- используется ПР маневр шнек.

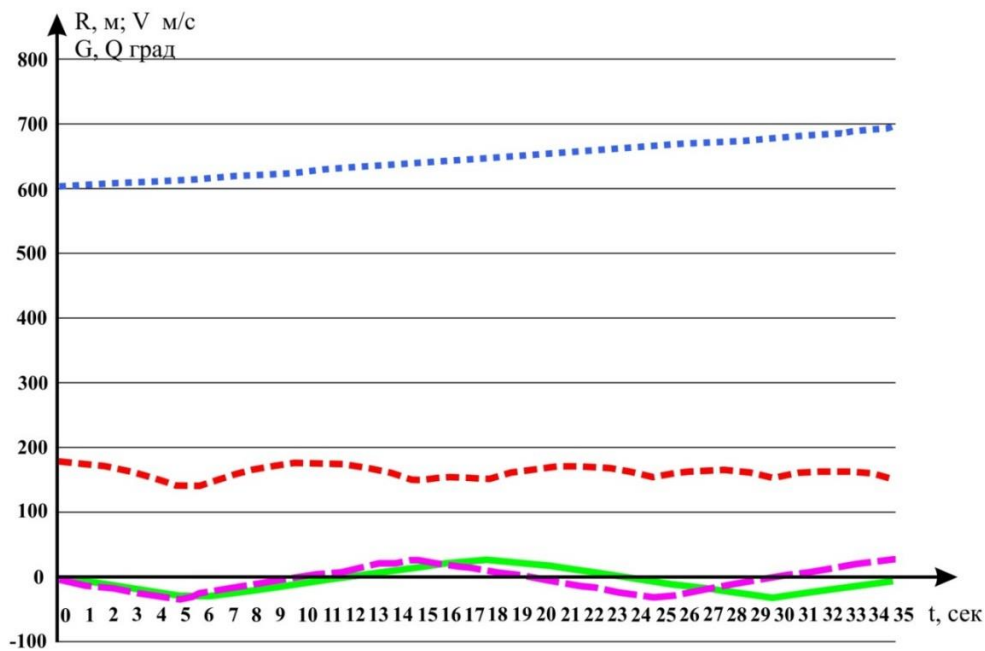


Рисунок 3 – Параметры противоракетного маневра шнек

Сравнительные результаты расчета ЗВП, при указанных начальных условиях завязки воздушного боя, представлены на рисунке 4.

Расчет ЗВП выполнялся для всех возможных направлений пуска УР, а именно от стрельбы УР в переднюю полусферу до стрельбы в заднюю полусферу (стрельба вдогон). Стрельба УР с других направлений, близких к перпендикулярному по отношению к вектору скорости цели (БЛА), назовем стрельбой вбок.

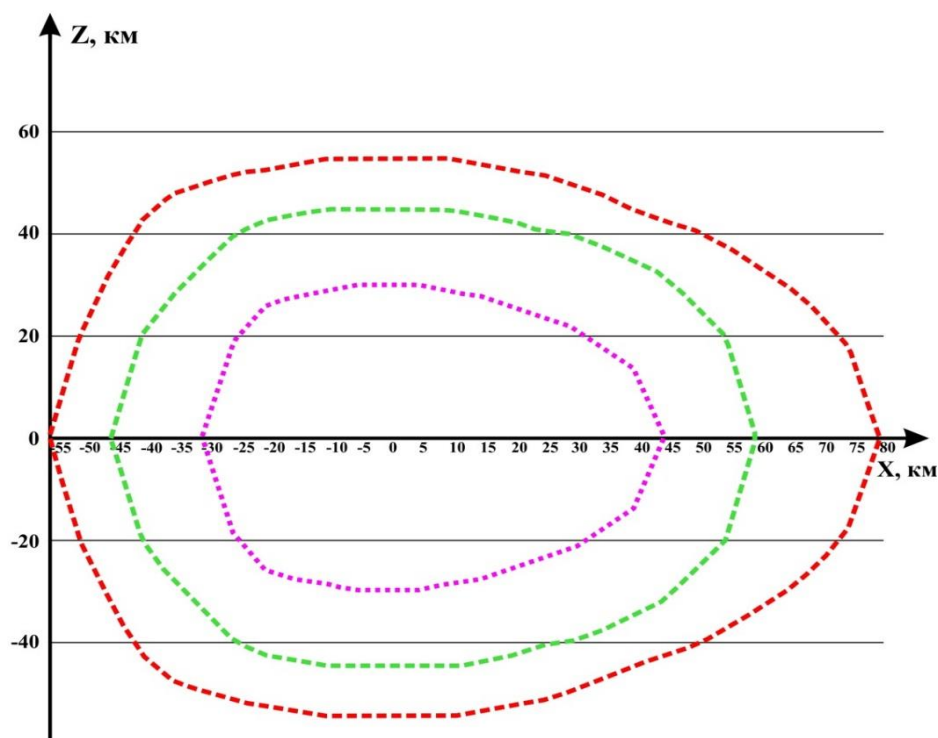


Рисунок 4 – Результаты расчета ЗВП при выполнении различных противоракетных маневрах

Красной (пунктирной) линией обозначена ЗВП, когда образец ВРТК ВН не маневрирует. Размеры ЗВП в этом случае ограничиваются следующими значениями:

- стрельба УР в переднюю полусферу 80 км;
- стрельба вдогон 55 км;
- стрельба вбок 55 км.

Зеленой (точка-пунктирной) линией представлена ЗВП при выполнении ПР маневра змейка. Размеры ЗВП в этом случае ограничиваются следующими значениями:

- стрельба УР в переднюю полусферу 60 км;
- стрельба вдогон 45 км;
- стрельба вбок 48 км.

Фиолетовой (точечной) линией отмечены размеры ЗВП при маневре шнек. Размеры ЗВП в этом случае ограничиваются следующими значениями:

- стрельба УР в переднюю полусферу 45 км;
- стрельба вдогон 30 км;
- стрельба вбок 28 км.

Анализ результатов моделирования показал, что ЗВП при выполнении ВРТК ВН маневра змейка сокращает площадь ЗВП по сравнению с вариантом «БЛА не маневрирует» почти в 1.4 раза, а применение воздушным роботом маневра типа шнек приводит к уменьшению ЗВП – в 1.8 раз.

По итогам моделирования можно сделать вывод о целесообразности применения ПР маневра шнек для ВРТК ВН среднего и большого классов, как эффективного средства обороны, не требующего какого-либо дополнительного оборудования (ИК-ловушек, постановщиков РЛ помех в составе оборудования БЛА), для противодействия ракетным атакам противника.

Выводы. Современный уровень развития ВРТК ВН характеризуется повышением автономности их действий и расширением функциональных возможностей военных роботов при выполнении задач по предназначению, что особенно касается воздушных роботов тяжелого и среднего классов.



Вместе с этим расчет стоимости каждого образца ВРТК ВН сопоставим со стоимостью образцов экипажных БАК 4-го и 5-го поколений.

Для защиты дорогостоящих образцов военной техники необходимо разрабатывать систему мероприятий для противодействия возможным атакам противника, аналогичную, как минимум, оборонительным комплексам современных экипажных БАК.

Проведенный анализ методов и средств защиты ВРТК ВН показал, что по сравнению с другими средствами (конструктивными решениями) защиты БЛА от действий противника по критериям «эффективность – стоимость» или «эффективность – масса» разработка и применение новых специальных алгоритмов, для выполнения объектом защиты ПР маневров является наиболее предпочтительным [8].

Проведенный анализ известных ПР маневров, подтвержденный результатами моделирования показал, что применение маневра шнек наиболее перспективно по сравнению с другими противоракетными маневрами.

Резервом повышения эффективности применения ПР маневра шнек является оптимизация параметров указанного маневра под конкретные условия завязки воздушного боя.

Современным и наиболее перспективным методом оптимизации параметров ПР маневрирования ВРТК ВН может быть использование методов искусственного интеллекта, а именно, нейронных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективы применения робототехнических комплексов в вооруженной борьбе / С.В. Чварков, А.С. Чагрин // Тр. военно-научной конференции «Роботизация Вооруженных сил Российской Федерации». М.: ГНИИЦ РТ МО, 2016. С. 24–32.

2. RQ-4 Global Hawk. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.Avia.pro>. (дата обращения 01.08.2019).

3. Военное обозрение. Полигоны Калифорнии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.TopWar.ru>. (дата обращения 01.08.2019).

4. Центр военно-политических исследований. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.Eurasian-defence.ru>. (дата обращения 01.08.2019).

5. Уголок неба. Большая авиационная энциклопедия. Авиация в локальных войнах / Под ред. Бабич В.К. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.airwar.ru> (дата обращения 01.08.2019).

6. Решение задачи прицеливания при пуске и наведении ракет на энергично маневрирующие воздушные цели / В.В. Сапков и др. // Тематический сборник. Системный анализ эффективности боевых авиационных комплексов. М.: ПО «Периодика», 2016. С. 43–52.

7. Расширение функциональных возможностей робототехнических комплексов воздушного базирования за счет применения модифицированного метода численного интегрирования. / В.Б. Козарь, С.И. Слинин // Тр. Гос-НИИАС. Сер. Вопросы авионики. 2018. № 6 (39). С. 55–64.

8. Задача обоснования оптимальной численности группировки войск по критерию «стоимость-эффективность» / А.И. Буравлев, Г.А. Еланцев // Журнал Вооружение и экономика. М.: 46-й ЦНИИ МО РФ, 2014. №3 (28). С. 42–50.

REFERENCES

1. Perspektivy primeneniya robototekhnicheskikh kompleksov v vooruzhennoj bor'be / S.V. Chvarkov, A.S. Chagrin // Tr. voenno-nauchnoj konferencii «Robotizaciya Vooruzhennyh sil Rossijskoj Federacii». M.: GNIIC RT MO, 2016. pp. 24–32.



2. RQ-4 Global Hawk. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.Avia.pro>. (data obrascheniya 01.08.2019).
3. Voennoe obozrenie. Poligony Kalifornii. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.TopWar.ru>. (data obrascheniya 01.08.2019).
4. Centr voenno-politicheskikh issledovaniy. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.Eurasian-defence.ru>. (data obrascheniya 01.08.2019).
5. Ugolok neba. Bol'shaya aviacionnaya `enciklopediya. Aviatsiya v lokal'nyh voynah / Pod red. Babich V.K. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.airwar.ru> (data obrascheniya 01.08.2019).
6. Reshenie zadachi pricelivaniya pri puske i navedenii raket na `energichno manevriruyuschie vozdushnye celi / V.V. Sapkov i dr. // Tematicheskij sbornik. Sistemnyj analiz `effektivnosti boevykh aviacionnykh kompleksov. M.: PO «Periodika», 2016. pp. 43–52.
7. Rasshirenie funkcional'nykh vozmozhnostej robototekhnicheskikh kompleksov vozdushnogo bazirovaniya za schet primeneniya modifitsirovannogo metoda chislennogo integrirovaniya. / V.B. Kozar', S.I. Slinin // Tr. Gos-NIIAS. Ser. Voprosy avioniki. 2018. № 6 (39). pp. 55–64.
8. Zadacha obosnovaniya optimal'noj chislennosti gruppirovki vojsk po kriteriyu «stoimost'-`effektivnost'» / A.I. Buravlev, G.A. Elancev // Zhurnal Vooruzhenie i `ekonomika. M.: 46-j CNII MO RF, 2014. №3 (28). pp. 42–50.

© Гриценко А.Е., Слинин С.И., Рубинов В. И., 2019

Гриценко Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Главный научно-технический испытательный центр робототехники МО РФ, Россия, 125167, Россия, г. Москва, ул. Серегина, 5, gritsoff@mail.ru.

Слинин Сергей Игоревич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Главный научно-технический испытательный центр робототехники МО РФ, Россия, 125167, Россия, г. Москва, ул. Серегина, 5, slininsergey@gmail.com.

Рубинов Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент, начальник 92 кафедры автоматизации управления летательными аппаратами (и вычислительных систем), 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, rubinov777@mail.ru.