



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования**

**«Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

Санкт-Петербург, 190005, 1-я Красноармейская ул., д. 1
Тел.: (812) 316-2394, Факс: (812) 490-0591
E-mail: komdep@bstu.spb.su. www.voenmeh.ru
ИНН 7809003047

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор университета

д.т.н., профессор

К.М. Иванов

«18» июня 2021 года



№ _____

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Ляпина Никиты Александровича на тему: "Разработка и исследование алгоритма гарантирующего управления траекторией беспилотного летательного аппарата на основе игрового подхода", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)"

Диссертационная работа Ляпина Никиты Александровича посвящена разработке моделей и алгоритмов, составляющих основу синтеза гарантирующего управления траекторией движения беспилотного летательного аппарата, участвующего в операции отражения воздушного налета.

Анализ современного состояния и перспектив развития беспилотной авиации однозначно указывает, что по своим техническим и функциональным возможностям беспилотные летательные аппараты (БЛА) могут выступать в качестве эффективного дополнения к пилотируемым ЛА при решении разнообразных целевых задач.

Одним из перспективных направлений боевого применения БЛА является их использование в операциях отражения воздушного налета, когда БЛА фактически выступает в роли беспилотного аналога самолета-истребителя в системе противовоздушной обороны (ПВО). Основным аргументом в пользу активного использования беспилотных самолетов-истребителей является то, что подобные летательные аппараты всегда будут превосходить пилотируемые по маневренным характеристикам, которые не ограничиваются физиологическими возможностями

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«28» 06 2021 г.

экипажей, и весовым показателям из-за отсутствия необходимости размещения систем жизнеобеспечения и защиты экипажей.

Тем не менее, несмотря на значительный интерес со стороны отечественных и зарубежных специалистов к проектам создания беспилотных самолетов-истребителей, их практическая реализация затрудняется в основном сложностью бортовых алгоритмов управления.

В настоящее время вопросам траекторного управления перспективными беспилотными самолетами-истребителями уделяется значительное внимание. В наибольшей степени исследованы алгоритмы командного наведения БЛА-перехватчика с участием командного центра системы ПВО и самолета дальнего радиолокационного обнаружения и управления. Известны подходы, использующие в качестве основы для разработки алгоритмов управления траекторией БЛА-перехватчика в операции отражения воздушного налета, данные о проекциях ускорения целей, а также решения, базирующиеся на классических методах управления (погони, параллельного сближения), традиционно применяемых для наведения зенитных управляемых ракет.

Общий недостаток существующих подходов заключается в том, что они не учитывают объективного игрового характера задачи управления траекторией беспилотного истребителя. В условиях воздушной дуэли ее участники в процессе маневрирования всегда стараются занять тактически выгодное с точки зрения последующей атаки положение относительно противника с учетом их динамических возможностей и имеющихся средств поражения.

Именно это обстоятельство обуславливает актуальность и научную оригинальность представленной диссертационной работы, в которой предлагается новое решение задачи синтеза управления траекторией беспилотного истребителя, базирующееся на игровом подходе.

Работа состоит из введения и четырех глав. Во введении автор проводит анализ современного состояния исследований в области создания БЛА-перехватчиков, который сопровождается многочисленными библиографическими ссылками на отечественные и зарубежные работы в данной предметной области. Опираясь на результаты проведенного анализа, автор формулирует основные положения диссертационной работы. Кроме того, во введении приводится краткий обзор содержания основных разделов с анализом полученных результатов.

В первой главе диссертационной работы на основе анализа современных достижений в области создания беспилотных авиационных систем подтверждается наличие необходимых технических предпосылок для создания БЛА-перехватчика. Можно согласиться с заключением автора о том, что динамические возможности современных БЛА вполне сопоставимы, а в чём-то даже превосходят возможности пилотируемых летательных аппаратов, что делает вполне оправданным их

использование для перехвата воздушных целей.

Отдельное внимание в материалах первой главы уделено анализу современных работ, представленных в открытых библиографических источниках, в которых затрагиваются различные аспекты проблемы управления траекторией БЛА-перехватчика. Автор аргументированно доказывает, что адекватной формальной основой для синтеза управления траекторией перспективного беспилотного самолета-истребителя является игровой подход, в рамках которого становится возможным решить задачу перехвата воздушного противника с сохранением при этом собственного БЛА. Эта особенность игрового подхода представляется весьма важной, поскольку перспективный беспилотный истребитель по своей сложности и стоимости приближается к пилотируемому самолету, что делает неприемлемым его однократное использование в режиме «камикадзе».

Учитывая это, автор формулирует игровую задачу синтеза оптимального управления траекторией беспилотного истребителя на этапе его выведения в район применения авиационных средств поражения.

Основной теоретический результат диссертационной работы представлен во второй главе. Основу решения, предлагаемого автором, составляет представление конфликтующих самолетов в виде материальных точек и описание их движения в инерциальном пространстве относительных координат. В результате задача синтеза управления траекторией беспилотного самолета-истребителя интерпретирована автором как задача синтеза гарантирующего управления линейной динамической системой, оптимизируемой по квадратичному критерию.

Очевидно, что подобная постановка оптимизационной игровой задачи не отличается математической строгостью, но представляется вполне пригодной для инженерных расчетов, особенно на этапах предварительного формирования облика перспективного БЛА-перехватчика, поскольку позволяет сформировать обоснованные требования за счет комплексного учета влияния его основных маневренных характеристик, возможностей располагаемых на БЛА авиационных средств поражения и характеристик бортовой радиолокационной станции на приобретаемое позиционное преимущество.

Выделим ещё один существенный теоретический результат, представленный в главе 2. Известно, что теоретически строгое решение синтеза гарантирующего управления для линейной динамической системы с квадратичным критерием получено в предположении, что продолжительность процесса маневрирования задана. Это обстоятельство во многом ограничивает возможность практического использования игрового подхода. В результате проведенных в рамках диссертационной работы исследований, автором предложено расширение традиционной задачи синтеза гарантирующего управления и получены конкретные соотношения для определения продолжительности процесса маневрирования, соответствующие условию существования седловой точки.

Третья и четвертая главы диссертационной работы по существу посвящены практически значимым частным случаям решения общей задачи синтеза гарантирующего управления, рассмотренной в главе 2.

В третьей главе представлено решение задачи синтеза оптимального управления траекторией БЛА – перехватчика в процессе преследования воздушного противника. В качестве цели для БЛА-перехватчика в рамках подобной постановки выступает ударно-разведывательный БЛА, целью которого является уклонение от атаки воздушного противника. Для подобной ситуации исследованы маневры преследования цели, которые обеспечивают тактическое преимущество БЛА-перехватчика с точки зрения последующего применения авиационных средств поражения.

В четвертой главе рассмотрен алгоритм гарантирующего управления траекторией БЛА, обеспечивающий его уклонение от атаки воздушного противника. Исследовано влияние тактически значимых показателей маневренности БЛА на эффективность реализации маневра уклонения. Прикладная ценность данного результата диссертационной работы обусловлена тем, что одной из важнейших проблем, связанной с боевым использованием беспилотных летательных аппаратов при решении ими ударно-разведывательных задач, остается обеспечение их высокой живучести в условиях организованного противодействия. Источником противодействия могут выступать как наземные средства противовоздушной обороны, так и самолеты-истребители (пилотируемые или беспилотные). Минимизация угрозы, которая исходит от наземных средств ПВО, главным образом, достигается за счет использования алгоритмов предполетного планирования маршрутов БЛА, но наиболее актуальным является исследование и оптимизация маневров уклонения беспилотного летательного аппарата от атаки воздушного противника.

Эффективность представленных в диссертационной работе алгоритмов гарантирующего управления подтверждена результатами статистического моделирования, в ходе которого случайным образом варьировалось относительное взаимное положение БЛА и цели в момент установления информационного контакта, рассматривались различные типы авиационных средств поражения, располагаемых на БЛА (ракетное с тепловой и радиолокационной головками самонаведения, пушечное), исследовались различные соотношения предельных маневренных характеристик БЛА и цели.

Выделим те аспекты представленной диссертационной работы, которые обуславливают её научную и прикладную значимость.

Основным научным результатом, по нашему мнению, является предложенный автором метод синтеза гарантирующего управления траекторией беспилотного перехватчика, основанный на описании конфликтующих самолетов в пространстве относительных координат, что позволило использовать известную структуру гарантирующего управления для класса линейных динамических систем, оптимизируемых по квадратичному критерию.

Практическая ценность материалов диссертационной работы заключается в том, что на основе разработанных алгоритмов удается сформулировать обоснованные требования к маневренным характеристикам БЛА-перехватчика с учетом возможностей бортовой радиолокационной станции и авиационных средств поражения (АСП), при которых обеспечивается его позиционное преимущество в условиях воздушного боя.

Обоснованность этих требований подтверждается результатами математического моделирования, отражающими достигаемое тактическое преимущество (с точки зрения последующего использования АСП), которое приобретает беспилотный перехватчик.

Выводы по главам и в целом по диссертационной работе четко сформулированы, математические утверждения строго доказаны. Эффективность предложенных алгоритмов продемонстрирована на многочисленных тестовых примерах.

Автореферат полностью отражает структуру и содержание диссертационной работы

Выделим те замечания, которые возникли в процессе знакомства с материалами диссертационной работы:

1. Модель, описывающая относительное состояние конфликтующих самолетов, не учитывает их движения относительно центра масс. При этом автор не приводит никаких аргументов в пользу допустимости подобного допущения. Кроме того, нет никаких оценок, подтверждающих работоспособность разработанных алгоритмов с учетом реальных характеристик контура стабилизации углового положения летательного аппарата;
2. В структуре критерия присутствуют векторы, задающие идеальные (с точки зрения последующего использования авиационных средств поражения) относительные состояния противников. Очевидно, что компоненты этих идеальных векторов должны определяться с учетом конкретных пространственных конфигураций зон возможных пусков (ЗВП) авиационных управляемых ракет, которыми вооружены противники. Автор никак не комментирует механизм выбора этих идеальных векторов с учетом конкретных параметров ЗВП.
3. Представленное в работе решение задачи синтеза гарантирующего управления получено без учета ограничений на векторы состояния конфликтующих самолетов. Автор упоминает, что косвенный учет этих ограничений достигается за счет выбора начального параллелепипеда, задающего область решения задачи, но не раскрывает, как конкретно реализуется эта возможность.
4. Полученное автором решение базируется на предположении о том, что противники всегда располагают информацией о положении противника и его скорости. К сожалению, в работе не проводится анализ современных бортовых

радиолокационных систем, подтверждающих обоснованность этого предположения.

Указанные недостатки не снижают в целом положительной оценки научной и практической значимости диссертационной работы. Диссертация соответствует специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)». Содержание автореферата адекватно отражает принципиальные положения и выводы диссертации. Оформление диссертации отвечает требованиям, установленным Министерством науки и высшего образования РФ.

Вывод: диссертация Ляпина Н.А. представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические решения по разработке алгоритмов гарантирующего управления траекторией беспилотного самолета-истребителя, внедрение которых позволит расширить возможности беспилотной авиации и повысить эффективность выполняемых операций.

Диссертация написана единолично, содержит совокупность новых научных результатов и положений, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Предложенные автором новые решения строго аргументированы и критически оценены. Оформление диссертации соответствует требованиям к работам, направляемым в печать. Ляпин Никита Александрович достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры А5 «Динамика и управление полетом летательных аппаратов» « 09 » июня 2021г., протокол № А5-04/21.

Заведующий кафедрой «Динамика и управление полетом летательных аппаратов» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова, Заслуженный работник высшей школы РФ, член-корреспондент Российской академии ракетных и артиллерийских наук, доктор технических наук, профессор



О.А. Толпегин