

ОТЗЫВ

официального оппонента – кандидата технических наук Михалёва Ивана Сергеевича на диссертационную работу ЛЯПИНА Никиты Александровича: «Разработка и исследование алгоритма гарантирующего управления траекторией беспилотного летательного аппарата на основе игрового подхода», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)»

В настоящее время наблюдается устойчивый интерес к созданию беспилотных истребителей как в России, так и за рубежом. Однако возможность использования беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в интересах противовоздушной обороны пока ограничена отдельными проектами создания беспилотных истребителей, способных обеспечить перехват слабоманевренных целей. Перспективы использования беспилотных истребителей в условиях воздушного боя ограничены прежде всего сложностью бортовых алгоритмов, способных реагировать на возникающие в типовом воздушном бою изменения обстановки с необходимой скоростью, точностью и адекватностью.

Именно это обстоятельство обуславливает актуальность диссертационной работы Ляпина Н.А., в которой исследуется возможность использования игрового подхода в качестве теоретической основы синтеза гарантирующего управления траекторией беспилотного истребителя, участвующего в воздушном бою.

Диссертационная работа состоит из введения и четырёх глав, в которых изложены основные результаты исследований.

Введение включает материалы, подтверждающие актуальность решаемой задачи, отражает содержание основных разделов диссертационной работы с оценками научной новизны и практической значимости полученных в ней результатов.

Первая глава посвящена аналитическому обзору современных достижений в области беспилотных авиационных систем с точки зрения наличия необходимых технических предпосылок создания беспилотных истребителей. Представленный автором обзор сопровождается многочисленными ссылками на работы отечественных и зарубежных специалистов и адекватно отражает современный уровень исследований в области беспилотной авиации. Действительно, достигнутый прогресс в области разработки БЛА позволяет говорить о возможности их использования для перехвата воздушных целей. Однако главным препятствием на пути практической реализации этой возможности является сложность автоматического управления траекторией движения БЛА.

Ситуация осложняется тем, что перспектива использования беспилотного истребителя в условиях воздушного боя объективно порождает игровую задачу, в которой каждый из участников стремится поразить противника. В подобных условиях выбор игрового подхода в качестве основы для разработки алгоритма траекторного управления беспилотным истребителем представляется весьма

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«28» 06 2021 г.

обоснованным, в полной мере отвечающим технической специфике рассматриваемой задачи. При этом автор ограничивается задачей управления траекторией беспилотного истребителя только на этапе его приведения в область применения авиационных средств поражения (АСП).

Представленные в первой главе материалы достаточно логичны, сопровождаются необходимыми библиографическими ссылками и в совокупности подтверждают актуальность рассматриваемой в диссертационной работе задачи.

Вторая глава представляет собой наибольший интерес, так как составляет её научную основу. Именно в этой главе приведено описание математической постановки задачи синтеза гарантирующего управления траекторией беспилотного перехватчика, а также представлены алгоритмы, обеспечивающие решение сформулированной автором игровой задачи.

Несмотря на привлекательность использования игрового подхода для разработки алгоритма управления траекторией беспилотного истребителя на этапе выхода в район применения АСП, его практическая реализация сталкивается с почти неразрешимыми проблемами, порождаемыми необходимостью решения задачи минимаксной оптимизации. Ценность предложенного в диссертационной работе решения заключается в описании процесса маневрирования противников в пространстве относительных координат, что приводит к известной задаче синтеза гарантирующего управления для класса линейных динамических систем. Более того, в пространстве относительных координат удаётся задать положение терминальных точек для каждого из противников, которые являются «идеальными» с точки зрения последующего применения АСП. В рамках подобного представления цели управления игроков могут быть адекватно описаны с помощью квадратичного критерия. В конечном итоге автор приходит к известной игровой задаче синтеза гарантирующего управления непрерывной динамической системой, оптимизируемой по квадратичному критерию, для которой доказано существование седловой точки и получены аналитические зависимости, описывающие законы управления игроков.

Представляется, что предложенная математическая постановка задачи синтеза гарантирующего управления траекторией беспилотного перехватчика, как минимаксной задачи управления линейной динамической системой с квадратичным критерием качества, является несколько упрощённой, поскольку базируется на представлении беспилотного истребителя и воздушной цели в виде материальных точек, состояние которых описывается шестью параметрами (три проекции вектора скорости и три координаты) в инерциальной системе координат. Тем не менее, подобная, пусть даже упрощенная постановка задачи, представляет интерес, поскольку позволяет в комплексе исследовать влияние маневренных возможностей беспилотного истребителя с учётом характеристик бортовой радиолокационной станции и АСП на достигаемое позиционное преимущество в условиях воздушного боя.

Несомненный научный интерес представляет предложенное автором расширение задачи синтеза гарантирующего управления для линейной динамической системы с квадратичным критерием для ситуации, когда

продолжительность процесса маневрирования игроков заранее не задана и должна определяться с учётом текущего относительного состояния игроков из условия существования седловой точки. Автор предлагает способ вычисления расчётной продолжительности процесса маневрирования игроков в пределах заданного временного отрезка. К сожалению, автор ограничивается лишь самыми общими соображениями относительно способа практического получения этого временного отрезка, не приводя алгоритма расчёта минимальной и максимальной продолжительности процесса боевого маневрирования.

Суммируя материалы, представленные во второй главе, следует отметить, что возможность бортовой реализации разработанных алгоритмов синтеза гарантирующего управления требует дополнительных исследований, поскольку эти алгоритмы опираются на упрощённую постановку задачи. Можно рассматривать разработанные алгоритмы как полезный инструмент формирования научно-обоснованных требований к маневренным возможностям перспективного БЛА-перехватчика, с учётом характеристик его бортового оборудования и АСП.

Третья глава посвящена решению задачи синтеза оптимального управления траекторией БЛА-истребителя в задаче преследования воздушного противника. Подобная задача возникает всякий раз, когда в качестве цели выступает разведывательный БЛА. В подобной ситуации возникает необходимость получения такого управления, при котором БЛА приобретает позиционное преимущество с точки зрения последующего применения АСП при наихудшем с точки зрения атакующего БЛА варианте маневрирования цели. По существу, рассматриваемая задача является практически важным частным случаем изложенной во второй главе общей постановки задачи синтеза гарантированного управления. Прикладной интерес представляют результаты имитационного моделирования, позволяющие оценить, как влияют различия в маневренных характеристиках беспилотного истребителя и цели, на достигаемое позиционное преимущество с учётом размещаемых на истребителе АСП.

Четвёртая глава раскрывает в рамках предложенной автором игровой постановки задачу уклонения БЛА от атаки воздушного противника. Предложен алгоритм гарантирующего управления траекторией БЛА, при котором противнику не удаётся занять выгодное с точки зрения последующей ракетной атаки положение относительно БЛА. В диссертационной работе представлены результаты математического моделирования, позволяющие оценить влияние тактически значимых показателей маневренности БЛА на эффективность реализации маневра уклонения от атаки воздушного противника, оснащённого различными АСП.

Подчеркну основные аспекты диссертационной работы, которые подтверждают её научную и прикладную значимость:

автором предложена формальная постановка задачи оптимального управления траекторией беспилотного истребителя, как задачи синтеза гарантирующего управления линейной динамической системой, оптимизируемой по квадратичному критерию;

алгоритм гарантирующего управления линейной динамической системой, оптимизируемой по квадратичному критерию, отличающийся от известных решений тем, что продолжительность процесса управления не задана и определяется в процессе решения задачи из условия существования седловой точки;

алгоритмы, обеспечивающие на единой формальной основе синтез гарантирующего управления траекторией движения БЛА в различных ситуациях: в условиях воздушной дуэли, при реализации маневра преследования воздушного противника, при выполнении маневра уклонения БЛА от атаки воздушного противника;

результаты математического моделирования, позволяющие оценить совместное влияние тактически значимых маневренных характеристик БЛА, характеристик размещаемых на нём АСП, а также предельных возможностей бортовой радиолокационной станции по дальности обнаружения цели на достигаемое позиционное преимущество.

Оформление материалов диссертационной работы соответствует требованиям, предъявляемым к квалификационным работам, выводы по результатам диссертационного исследования чётко сформулированы.

Автореферат полностью отражает структуру и содержание диссертационной работы.

В процессе ознакомления с материалами возник ряд замечаний, среди которых необходимо отметить следующие:

1. Предлагаемые автором алгоритмы синтеза гарантирующего управления опираются на несколько упрощенную постановку задачи, что обуславливает невозможность их бортовой реализации. Правильнее рассматривать разработанные алгоритмы как полезный инструмент формирования научно-обоснованных требований к маневренным характеристикам перспективного БЛА-перехватчика, характеристикам его бортового оборудования и АСП.

2. Обязательным условием практической реализации полученных автором законов управления является сохранение постоянного информационного контакта с противником в течение всего процесса маневрирования. К сожалению, автор не приводит данные, которые подтверждали бы возможность технической реализации подобного допущения.

3. Предложенный в диссертационной работе алгоритм вычисления расчётной продолжительности процесса маневрирования, отвечающей условию существования седловой точки, базируется на предположении о том, что заданы минимальное и максимальное значения продолжительности. Автор ограничивается лишь самыми общими соображениями относительно способа практического получения этих значений, не приводя алгоритма их расчёта.

4. В процессе имитационного моделирования использованы характеристики ракет «воздух-воздух», оснащённых различными головками самонаведения (тепловая, радиолокационная), которые в настоящее время используются на пилотируемых истребителях. Образцов подобного вооружения, допускающих их размещение на БЛА с учётом массовых и габаритных ограничений, сегодня не существует. Поэтому представленные результаты имитационного моделирования носят предварительный характер и требуют

уточнения с учётом реальных характеристик АСП, которыми может оснащаться БЛА.

Отмеченные замечания не снижают научную значимость и не оказывают существенного влияния на основные научные результаты и практическую ценность работы.

Считаю, что представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием, представляющим безусловный научный и прикладной интерес, содержит ряд обоснованных научных положений, выводов и рекомендаций, полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Автор работы, Ляпин Никита Александрович, является квалифицированным научным специалистом и заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Основные результаты диссертационной работы рекомендуются для использования в учебных, научно-исследовательских и научно-производственных организациях, связанных с проблемами управления беспилотными летательными аппаратами.

Старший научный сотрудник
ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России,
кандидат технических наук

«24» июня 2021 г.

И.С. Михалёв

Подпись Михалёва И.С. заверяю:

Начальник отдела кадров и строевой
ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России



В.А. Войсковых

Федеральное государственное бюджетное
учреждение «46 Центральный научно-исследовательский
институт» Министерства обороны Российской Федерации.
129327, город Москва, Чукотский проезд, 10.
8(499)471-47-44.