

О Т З Ы В

официального оппонента - д.т.н., профессора, Инсарова Вильяма Викторовича на диссертационную работу Ляпина Никиты Александровича "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 исследованию игрового подхода, рассматриваемого автором в качестве основы для разработки алгоритма гарантирующего управления траекторией беспилотного летательного аппарата (БЛА), участвующего в операции перехвата воздушной цели.

Замечу, что в настоящее время наибольшее распространение получили комплексы с беспилотными летательными аппаратами, решающие в основном задачи обнаружения, идентификации и нанесения ударов по наземным объектам. Тем не менее, одним из приоритетных направлений развития беспилотной авиации, активно обсуждаемым отечественными и зарубежными специалистами, является создание БЛА, ориентированных на перехват пилотируемых и беспилотных воздушных целей. Привлекательность данного направления обусловлена тем, что отсутствие летчика на борту БЛА-перехватчика позволяет существенно расширить его маневренные возможности за счет работы в более широком диапазоне допустимых скоростей и перегрузок, а также за счет использования более жестких вариантов непосредственного управления подъемной и поперечными аэродинамическими силами.

Несмотря на значительный интерес в России и за рубежом к проектам создания беспилотных самолетов-истребителей, их реализация затрудняется в основном сложностью бортовых алгоритмов управления. Исследования по разработке конструктивных, т.е. допускающих бортовую реализацию алгоритмов управления траекторией беспилотного истребителя активно ведутся в настоящее время. В диссертационной работе предлагается один из возможных подходов к разработке подобного алгоритма

Во введении автор обосновывает и формулирует основные положения, определяющие актуальность решаемой задачи, проводит обзор основных разделов работы, а также анализ полученных результатов с оценкой их научной новизны и практической значимости. Приведенные во введении библиографические ссылки на собственные работы автора указывают на глубину проработки материалов диссертационной работы, их научную и прикладную значимость.

В первой главе диссертационной работы проводится обзор современного состояния исследований в области беспилотных авиационных систем, который сопровождается многочисленными библиографическими ссылками на работы зарубежных и отечественных специалистов. Из проведенного анализа аргументированно следует, что функциональные возможности современных БЛА вполне сопоставимы, а в чём-то даже превосходят возможности пилотируемых летательных аппаратов, что делает вполне оправданным их использование для

решения разнообразных целевых задач, в том числе для задач перехвата воздушных целей.

Перспективы создания беспилотных истребителей в настоящее время активно обсуждаются как в России, так и за рубежом. Однако, главным препятствием на пути практического использования подобных БЛА по-прежнему остаётся отсутствие конструктивных алгоритмов траекторного управления в процессе боевого маневрирования. Предпринимаются попытки использования традиционных для наведения зенитных управляемых ракет методов управления, способов дистанционного управления по командам, формируемым наземным или воздушным командным пунктам. Тем не менее, несмотря на предпринимаемые попытки, задача синтеза алгоритмов, обеспечивающих формирование оптимальных в некотором смысле траекторий наведения беспилотного истребителя, сохраняет свою остроту.

Проблема заключается в том, что перспективный беспилотный истребитель представляет собой сложный, весьма дорогостоящий объект, затраты на создание которого сопоставимы с затратами на создание пилотируемого истребителя. Поэтому, важно решить задачу перехвата воздушного противника, сохранив при этом собственный БЛА-истребитель с целью его последующего использования. Таким образом, объективно возникает игровая задача синтеза оптимального управления, которую и формулирует автор. При этом в диссертации рассматривается постановка задачи синтеза гарантирующего управления только для этапа выведения в район применения авиационных средств поражения. Это обстоятельство никак не снижает ценности сформулированной задачи, поскольку именно этот этап является критически важным для решения задачи перехвата воздушного противника.

Вторая глава диссертационной работы, составляющая ее теоретическое ядро, содержит описание математической постановки задачи синтеза гарантирующего управления траекторией беспилотного перехватчика, а также разработанных автором алгоритмов, обеспечивающих решение сформулированной автором игровой задачи.

Автором предложено оригинальное решение, основанное на описании конфликтующих самолетов в пространстве относительных координат, что позволило использовать известную структуру гарантирующего управления для класса линейных динамических систем, оптимизируемых по квадратичному критерию.

Предложенная автором постановка оптимизационной игровой задачи не является математически строгой, поскольку базируется на описании конфликтующих самолетов в виде материальных точек, состояние которых описывается шестью параметрами (три проекции вектора скорости и три координаты) в инерциальной системе координат. Полагаю, что описанный в диссертационной работе алгоритм гарантирующего управления пока не предполагает бортовой реализации. Тем не менее, полученное автором решение игровой задачи представляет безусловный научный и прикладной интерес.

Научная новизна представленного в диссертационной работе решения игровой задачи обусловлена тем, что предложено расширение известного решения

минимаксной задачи синтеза управления линейной динамической системой, оптимизируемой по квадратичному критерию, для ситуации, когда продолжительность процесса управления не задана и должна быть определена в процессе решения задачи. Именно такая ситуация является типичной для прикладных задач. Автором предложен оригинальный способ определения продолжительности процесса маневрирования игроков, базирующийся на условии существования седловой точки.

Практическая ценность представленного во второй главе решения, по моему мнению, заключается в том, что оно позволяет сформулировать научно-обоснованные взаимосвязанные требования:

- к маневренным характеристикам БЛА-перехватчика с учетом возможностей располагаемого на нём бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) и авиационных средств поражения (АСП), при которых обеспечивается его позиционное преимущество в условиях воздушной дуэли;
- к АСП при заданных ограничениях на маневренные возможности БЛА;
- бортовому радиолокатору с учетом маневренных возможностей БЛА и характеристик АСП.

Перечисленные выше требования опираются на представленные в диссертационной работе результаты имитационного моделирования, в которых оценивалось тактическое преимущество (с точки зрения последующего использования АСП), достигаемое беспилотным перехватчиком. При этом варьировались маневренные характеристики БЛА-перехватчика и противника, характеристики располагаемых на них АСП, дальность захвата цели бортовой РЛС.

В третьей и четвертой главах диссертационной работы рассмотрены практически значимые частные случаи общей постановки задачи синтеза гарантирующего управления, сформулированной для условий воздушной дуэли.

В частности, глава 3 посвящена решению задачи синтеза оптимального управления траекторией БЛА – перехватчика в задаче преследования воздушного противника. Подобная задача возникает, если в качестве цели выступает разведывательный БЛА. Для подобной ситуации предложен алгоритм, обеспечивающий реализацию такой траектории преследования, которая обеспечивает позиционное преимущество атакующего БЛА с точки зрения последующего применения АСП. Эффективность предложенного алгоритма подтверждена результатами статистического моделирования.

В главе 4 на основе игрового подхода предложен алгоритм гарантирующего управления траекторией беспилотного летательного аппарата, обеспечивающий его уклонение от атаки воздушного противника. Проведено исследование влияния тактически значимых показателей маневренности беспилотного летательного аппарата на эффективность реализации маневра уклонения. Представлены результаты моделирования, отражающие степень влияния маневренных возможностей беспилотного летательного аппарата на достижение позиционного преимущества при решении задачи уклонения от атаки воздушного противника.

Таким образом, материалы диссертации однозначно подтверждают высокий уровень математической и инженерной проработки автором рассматриваемой задачи.

Суммируя вышеизложенное, выделю те главные моменты диссертационной работы, которые позволяют рассматривать ее как квалифицированное научно-прикладное исследование:

- ориентированность работы на решение сложной и актуальной научно-прикладной задачи разработки методов и алгоритмов управления траекторией беспилотного перехватчика;
- предложенная автором формализация задачи синтеза гарантирующего управления траекторией беспилотного перехватчика, основанная на описании конфликтующих самолетов в пространстве относительных координат, позволяет использовать известную структуру гарантирующего управления для класса линейных динамических систем, оптимизируемых по квадратичному критерию.
- решение задачи синтеза гарантирующего управления линейной динамической системой, оптимизируемой по квадратичному критерию для случая, когда продолжительность процесса маневрирования не задана и должна быть определена в процессе решения задачи из условий существования седловой точки;
- конкретные методы и реализующие их конструктивные алгоритмы, обеспечивающие синтез гарантирующего управления траекторией движения БЛА в условиях воздушной дуэли, а также при реализации маневров преследования-уклонения;
- результаты моделирования, отражающие влияние маневренных возможностей беспилотного летательного аппарата, характеристик АСП и БРЭО на достижение им позиционного преимущества в условиях воздушной дуэли, а также при реализации маневров преследования и уклонения.

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

В качестве замечаний к диссертационной работе подчеркну те, которые представляются мне наиболее существенными:

1. Полученное в диссертационной работе решение игровой задачи учитывает ограничения на параметры относительного состояния БЛА и цели. Но, выполнение ограничений на параметры относительного движения не гарантирует, что будут выполнены ограничения на параметры движения каждого из игроков. Это может стать препятствием на пути практического использования разработанных алгоритмов;

2. В качестве допущения автор выдвигает предположение о том, что в процессе маневрирования игроки постоянно сохраняют информационный контакт, располагая информацией в каждый момент времени относительно положения и проекциях вектора скорости противника. Обоснованность этого допущения никак не комментируется автором. Фактически автор предполагает, что самолеты, участвующие в воздушной дуэли, оснащены всеракурсными бортовыми РЛС, примеров использования которых на борту БЛА в настоящее время не существует.

3. В диссертации никак не раскрывается механизм формирования ограничений на управления игроков, в качестве которых выступают проекции ускорений на оси

инерциальной системы координат. Очевидно, что эти ограничения должны формироваться с учетом располагаемых перегрузок и зависят от углов крена, тангажа и рысканья. Представляется, что в подобных условиях формирование обоснованных ограничений на проекции ускорений может быть достигнуто лишь путем решения статической задачи оптимизации, о которой в работе нет никаких упоминаний.

4. В тексте диссертации и автореферате присутствуют отдельные смысловые и текстовые неточности, присутствие которых осложняет целостное восприятие материалов диссертационной работы

Тем не менее, перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки данной работы, а являются в большей степени пожеланиями для дальнейших исследований. Текст автореферата полностью соответствует представленной диссертационной работе. В целом диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование на актуальную тему, выполненное на высоком научном уровне, содержит в себе решение значимой научно-технической задачи, ряд обоснованных научных положений, выводов и рекомендаций и полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)".

Автор работы Ляпин Н.А. показал себя квалифицированным научным специалистом, способным самостоятельно ставить и решать сложные научно-технические задачи, и заслуживает присвоения ученой 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: ГосНИИ АС, МАИ, МГТУ, УГАТУ, корпорация «Вега».

Ведущий инженер ФГУП ГосНИИАС,
д.т.н., профессор

Инсаров В.В.

«22» июня 2021 г.

Подпись Инсарова В.В. заверяю:

Ученый секретарь

(подпись)

Мушкетер СМ

(Фамилия И.О.)



Федеральное государственное унитарное предприятие
«Государственный научно-исследовательский институт
авиационных систем»

125167, г. Москва, ул. Викторенко, 7, +7 (499) 157-70-47,
info@gosniias.ru