



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЕННОЕ  
ВОЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА  
«ВОЕННО-МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ  
ИМЕНИ АДМИРАЛА ФЛОТА  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА  
Н.Г. КУЗНЕЦОВА»

«20» мая 2022 года

№ 3/620/223

Ушаковская набережная, 17/1,  
г. Санкт-Петербург, 197342  
тел. 431-94-00, факс 496-16-18

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель начальника  
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»  
по учебной и научной работе  
кандидат военных наук, доцент  
контр-адмирал

*А. Карпов*

«20» мая 2022 г.

А.Карпов

### Отзыв ведущей организации

**Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» Министерства обороны Российской Федерации** на диссертацию Лысенко Павла Владимировича, выполненной по теме «Траекторная оптимизация риска обнаружения подвижных объектов в задаче уклонения», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)».

#### 1. Актуальность темы диссертации

В последние десятилетия отмечается запрос со стороны заказчиков на развитие и расширение возможностей современных обитаемых и необитаемых управляемых подвижных объектов (УПО) различного назначения, включая автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) и беспилотные летательные аппараты (БПЛА); в том числе и в области их управления. Для удовлетворения таких запросов происходит совершенствование теоретической базы проектирования и управления такими объектами. В частности, в науке управления возникла и развивается новая математическая область, посвященная задачам управления

как подкласса задач поиска-уклонения, получившая название теории планирования траектории УПО в конфликтной среде.

Рассматриваемая работа вносит заметный вклад в эту теорию и развитие ее приложений. При этом автор развивает аналитические методы решения важных прикладных задач управления УПО. Их отличительной особенностью являются «быстрые» алгоритмы и соответственно малое время расчетов даже на компьютерах с невысокой производительностью, например, бортовых. Это определяет актуальность результатов диссертационной работы для ВМФ и других заказчиков УПО.

Исследования выполнены в рамках государственной программы научных фундаментальных исследований «Методы обработки информации и алгоритмы для информационно-аналитических систем управления многофункциональными подвижными объектами» № 0052–2019–0004. Результаты использовались для выполнения проекта № 20–38–90215 (РФФИ), а также при создании системы поддержки принятия решений, разработанной в рамках ОКР, выполненной в рамках Гособоронзаказа. Подтверждением практической ценности полученных результатов служит акт внедрения результатов работы, выданный АО «Морские неакустические комплексы и системы».

## **2. Оценка структуры и содержания работы**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка, содержания и приложения. Работа изложена на 133 страницах, содержит 35 иллюстраций. Библиография включает 116 наименований. Диссертация имеет четкую структуру, ее материал изложен логически последовательно и соответствует поставленным целям и задачам.

Во введении обоснована актуальность и практическая значимость темы работы, сформулированы ее цели и задачи, проведен краткий анализ научных публикаций по проблеме планирования траекторий УПО, а также представлены результаты, выносимые на защиту, и их научная новизна.

В первой главе дан обзор известных постановок задач планирования траектории движения УПО, а также изложена научная история их развития. Обоснована актуальность теоретических и научных исследований в сфере управления такими объектами в связи с высокими темпами их развития. В результате анализа опубликованных решений задач уклонения УПО от обнаружения установлено, что большинство авторов используют численные методы при недостаточном внимании к получению аналитических решений.

Во второй главе рассматривается задача планирования траектории УПО при уклонении от одиночного обнаружителя с учётом ограничений на длину и кривизну траектории. Первая из них решается как задача вариационного исчисления. Необходимые условия экстремума выражаются через уравнения Эйлера-Лагранжа. Двухточечная вариационная задача сведена к решению системы алгебро-интегральных уравнений, а для ее численного решения разработаны программные модули для различных начальных и конечных условий, а также произвольных ограничениях на

длину траектории. Полученные решения сравнены с известными решениями при отсутствии ограничений на длину маршрута. Вторая задача сформулирована как задача оптимального управления и решена с помощью принципа максимума Понтрягина. Исследованы условия возникновения режима особого управления, получена оптимальная траектория. Описана математическая модель обнаружителя, выведен риск обнаружения как критерий оптимизации всех рассматриваемых в диссертационном исследовании задач и сформулирован общий вид задачи уклонения УПО от обнаружения.

В третьей главе рассматривается задача уклонения от обнаружения УПО, обладающего неоднородной индикатрисой излучения. Доказаны необходимые и достаточные условия оптимальности. Получены аналитические выражения оптимальной траектории, удовлетворяющей достаточным условиям оптимальности, а также выражения для нахождения оптимальных скоростного режима и риска обнаружения. Разработаны метод и алгоритм построения двухзвенной оптимальной траектории на основе аналитического решения задачи для случая невыполнения достаточных условий оптимальности траекторий. Как и во второй главе, аналитические решения обоснованы рядом лемм и теорем, которые сформулированы и доказаны. Результаты решения снабжены примерами и иллюстрациями.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы и предложены направления дальнейших исследований.

### **3. Новизна научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Новизна научных результатов работы в необходимой степени обоснована и состоит в том, что

- При решении задачи планирования траектории УПО с учётом ограничения на кривизну траектории предложена новая ее постановка, в которой в качестве УПО рассмотрен объект, обладающий динамикой машины Дубинса, а сама задача уклонения решается по критерию риска обнаружения.

- При решении задачи планирования траекторий УПО с неоднородной индикатрисой излучения используется формализация критерия риска обнаружения с введением в него мультипликативной составляющей, зависящей от направленности излучения объекта, что позволяет находить аналитические решения для более широкого класса задач уклонения по сравнению с известными методами.

- Предложены аналитические методы полного решения поставленных задач, дан научный анализ и классификация получаемых решений.

### **4. Степень достоверности результатов исследования**

Достоверность полученных в диссертационной работе Лысенко П. В. результатов подтверждается корректным использованием апробированных методов вариационного исчисления и оптимального управления.

Теоретические выводы подтверждаются согласованием полученных на их основе результатов с данными компьютерного моделирования на полных нелинейных моделях.

Главные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных научных конференциях, опубликованы в 3 статьях в журналах из списка ВАК, в 3 статьях в журналах, входящих в базу Science Citation Index Expanded (Q1), в 7 статьях в изданиях, индексируемых базой Scopus.

#### **5. Теоретическое значение научных результатов, полученных автором**

Теоретическое значение полученных результатов заключается в развитии теории планирования траектории УПО при уклонении от обнаружения, рассмотрении новых для данной области науки постановок задач, связанных с наличием фазовых, интегральных и динамических ограничений на движение, и разработке аналитических методов их решения.

#### **6. Практическое значение научных результатов, выводов и рекомендаций**

Практическое значение результатов работы состоит в разработке прикладных методов и алгоритмов получения опорных траекторий, оптимизирующих риск обнаружения подвижных объектов в задачах управления. Использование этих разработок в бортовых системах различных УПО в сочетании с численными методами позволит разработать алгоритмы реального времени планирования маршрутов и существенно снизить риск обнаружения таких объектов на найденном оптимальном маршруте.

#### **7. Свидетельство о личном вкладе автора в науку**

Все результаты исследования, изложенные в диссертационной работе, получены автором лично. Постановки задач исследования осуществлялись совместно с научным руководителем.

#### **8. Рекомендации по дальнейшему использованию полученных результатов**

Полученные в диссертационном исследовании Лысенко П.В. научные и прикладные результаты могут быть использованы при создании и совершенствовании математического и программного обеспечения специальных бортовых оперативно-советующих систем, бортовых планировщиков миссий беспилотных летательных и подводных аппаратов, соответствующих тренажеров и систем имитационного моделирования, а также в учебном процессе ряда технических университетов и других высших учебных заведений.

#### **9. Соответствие содержания автореферата основным идеям диссертации**

Тематика и содержание работы полностью соответствует паспорту заявленной специальности. Автореферат в достаточной мере отражает содержание диссертации. Вместе с тем, его ограниченный объем не позволил

представить ряд интересных в научном и прикладном плане расчетных результатов и графических иллюстраций из текста самой работы.

## **10. Недостатки**

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Достоверность результатов проведенных исследований не вызывает сомнений, но более широкое сравнение с численными результатами и алгоритмами построения опорных траекторий других авторов позволило бы получить количественные оценки вычислительной трудности разработанных алгоритмов и глубже проанализировать достоинства и недостатки исследования.

2. В работе рассмотрен только один тип обнаружителя, принимающий сигнал единственной физической природы в пассивном режиме. Следовало бы изучить и проанализировать и другие типы обнаружителей, тем более что разработанное математическое и программное обеспечение позволяют это сделать.

3. Развиваемые в работе аналитические методы решения поставленных задач, обладая рядом преимуществ, накладывают и определенные ограничения, например, на число обнаружителей, их мобильность, размерность области построения траектории и некоторые другие, что в известной мере снижает прикладную значимость полученных результатов.

4. В первой главе автор описывает несколько динамических моделей управляемых подвижных объектов (машина Дубинса, машина Риддса-Шеппа и др.), однако в дальнейшем рассматривает только одну из них – модель машины Дубинса. Исследование других моделей в контексте задачи минимизации риска обнаружения и сравнение полученных для них решений позволило бы получить результаты, представляющие теоретический и прикладной интерес.

Сделанные замечания во многом носят характер рекомендаций и не ставят под сомнение результаты работы.

## **11. Выводы**

Диссертация Лысенко Павла Владимировича является научной квалификационной работой, в которой сформулированы и решены задачи планирования траектории управляемых подвижных объектов при уклонении от обнаружения, имеющие существенное значение для математической теории управления и практики. Основные результаты диссертационного исследования достаточно полно отражены в публикациях автора.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)» отвечает требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.9 Положения о присуждении ученых степеней... № 842 от 24.09.2013 г. и п.6 Положения о присуждении ученых

степеней ...№ 235 от 17.03.2015 г.), а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составлен: преподавателем кафедры механики и гидромеханики Военного института (военно-морского политехнического), к.т.н. Слуцкой М.З., заведующим кафедрой механики и гидромеханики Военного института (военно-морского политехнического), д.т.н., профессором Гурьевым Ю.В.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры механики и гидромеханики Военного института (военно-морского политехнического) «27» апреля 2022 г., протокол №18.

Преподаватель кафедры механики и гидромеханики  
Военного института (военно-морского политехнического)  
Федерального государственного казенного военного образовательного  
учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр  
Военно-Морского Флота «Военно-морская академия  
имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»  
кандидат технических наук

М.В. Слуцкая

«04» мая 2022 г.

Заведующий кафедрой механики и гидромеханики  
Военного института (военно-морского политехнического)  
Федерального государственного казенного военного образовательного  
учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр  
Военно-Морского Флота «Военно-морская академия  
имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»  
доктор технических наук, профессор

Ю.В. Гурьев

«04» мая 2022 г.

Подпись Слуцкой М.З., Гурьева Ю.В. подтверждаю.  
Начальник отдела кадров Федерального государственного казенного  
военного образовательного учреждения высшего образования  
«Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская  
академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»  
капитан 1 ранга



В.А. Кобкин

«19» мая 2022 г.