

ОТЗЫВ официального оппонента

Доктора физико-математических наук Миллера Бориса Михайловича
на диссертацию Лысенко Павла Владимировича «Траекторная оптимизация
риска обнаружения подвижных объектов в задаче уклонения»,
представленную 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)»*

Актуальность темы исследования. В диссертационной работе П.В. Лысенко поставлены и решены задачи планирования траектории управляемых подвижных объектов (УПО) при уклонении от обнаружения при наличии фазовых, интегральных и динамических ограничений на движение объекта. В научной литературе, посвященной решению подобных задач, преобладают во основном методы решения в виде численных алгоритмов, тогда как в рассматриваемой диссертационной работе все решения получены аналитически методами вариационного исчисления и оптимального управления. Данные аналитические решения обоснованы корректно сформулированными и доказанными леммами и теоремами. Рассмотренные новые для данной области исследований постановки задач имеют существенное значение для математической теории управления, и на практике актуальны для современных приложений в самых разных областях деятельности человека, а рассматриваемые в постановках подвижные объекты могут быть моделями автономных необитаемых подводных аппаратов или беспилотных летательных аппаратов для практических применений. Полученные решения могут быть полезны при разработке алгоритмов реального времени для бортовых модулей планирования маршрутов этих объектов, а решение данных задач может существенно снизить величину риска обнаружения и обеспечить большую безопасность на найденном оптимальном маршруте в задаче уклонения от обнаружения.

Цель работы. Целью диссертационной работы является повышение эффективности управления подвижными объектами в задачах уклонения от обнаружения путем оптимизации траекторий движения и скоростных режимов методами оптимального управления и вариационного исчисления.

Научная новизна полученных результатов и выводов, сформулированных в диссертации. Научная новизна заключается в рассмотрении новых постановок задач уклонения от обнаружения для подвижных объектов, связанных с наличием фазовых, интегральных и динамических ограничений на движение объекта, а также разработке методов решения предложенных постановок задач на основе их полного аналитического решения, анализе и классификации получаемых решений.

Во второй главе рассмотрены:

задача планирования траектории УПО и исследуются задачи планирования траектории УПО, обладающего однородной индикатрисой рассеяния. при уклонении от одиночного обнаружителя с учётом ограничения на длину траектории и **задача планирования траектории при уклонении от одиночного обнаружителя при учете ограничения на кривизну траектории.** Основой для постановки задачи планирования траектории является совокупность соотношений, полученных для вероятности необнаружения для типичных случаев соотношения сигнал шум. Вывод формул для вероятностей основан на статистических критериях, учитывающих вероятность пропуска и ложной тревоги. В этом разделе удачно сочетаются методы статистического оценивания и вариационного исчисления. Первая задача планирования траектории УПО решается как задача вариационного исчисления. Необходимые условия экстремума выражаются через уравнения Эйлера-Лагранжа. Двухточечная вариационная задача сведена к решению системы алгебраических и интегральных уравнений, в которые входят нормальные эллиптические интегралы Лежандра первого и второго рода.

Вторая задача сформулирована как задача оптимального управления и решена с помощью принципа максимума Понтрягина. Исследованы условия возникновения режима особого управления, получены соотношения для оптимальной траектории в регулярном и особом случаях.

В третьей главе рассмотрена задача уклонения от обнаружения для подвижного объекта, обладающего неоднородной индикатрисой излучения. Доказаны необходимые и достаточные условия оптимальности. Формализована задача уклонения от обнаружения одиночным сенсором для УПО, обладающего неоднородной индикатрисой излучения. Доказаны необходимые и достаточные условия экстремума. Кроме того, изучены частные случаи индикатрисы излучения, при которых имеет место, вырождение этих условий. Получены аналитические выражения для оптимальной траектории, удовлетворяющей достаточным условиям оптимальности, а также выражения для нахождения оптимального скоростного режима и соответственно минимального риска обнаружения. Разработаны метод и алгоритм построения двухзвенной оптимальной траектории на основе аналитического решения задачи для случая невыполнения достаточных условий оптимальности траекторий.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов обусловлены корректными математическими постановками задач и строгими доказательствами теорем, лемм, утверждений. Результаты теоретических исследований подтверждены средствами компьютерного моделирования.

Значимость результатов, полученных автором. В работе содержатся новые постановки задач, серьезные математические исследования и ряд новых нетривиальных результатов в математической теории планирования траекторий управляемых подвижных объектов в задачах уклонения от обнаружения. Значимость полученных результатов подтверждается публикациями автора в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК и Web of Science и в трудах международных конференций. Подтверждением практической ценности полученных результатов служит акт внедрения результатов работы.

Замечания по работе.

Стоит отметить, что задачи уклонения от обнаружения и избежания угроз для беспилотных аппаратов рассматривались в отечественной литературе в достаточно общей постановке с неоднородным распределением чувствительности центров угроз и был предложен общий метод планирования траектории с использованием

принципа максимума. См. например: *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2012, Vol. 51, No. 2, pp. 328–338. © Pleiades Publishing, Ltd., 2012. Original Russian Text: М. А. Андреев, А. Б. Миллер, Б. М. Миллер, К. В. Степанян. Планирование траектории БПЛА в сложных условиях при наличии угроз. Известия Академии наук. Теория и Системы управления № 2, 2012.

2. Планирование траекторий АНПА должно учитывать навигационные возможности самого подводного аппарата и используемые для этого различные датчики с учетом их ошибок. См. например, Navigation of Underwater Drones and Integration of Acoustic Sensing with Onboard Inertial Navigation System. Alexander Miller, Boris Miller, and Gregory Miller. *Drones* 2021, 5, 83. <https://doi.org/10.3390/drones5030083>

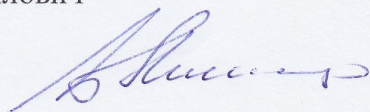
3. Мне представляется чрезмерным представление об известном положении обнаружителя, особенно в игровых задачах в условиях противодействия. Хотя, в качестве первого приближения решения подобных позволяют получать полезные оценки и в реальных условиях.

Заключение. Указанные замечания не снижают научную ценность данного диссертационного исследования. Диссертация П.В. Лысенко является законченной научно-квалификационной работой, в которой решаются актуальные задачи планирования траектории управляемых подвижных объектов при уклонении от обнаружения. Результаты полностью опубликованы в 3 статьях в журналах из списка ВАК, в трудах международных и всероссийских конференций. Тематика и содержание работы полностью соответствует заявленной специальности. Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, критериям положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Лысенко Павел Владимирович, заслуживает присуждения ему научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01.

Официальный оппонент

Миллер Борис Михайлович



Доктор физико-математических наук, Профессор, Главный научный сотрудник

Института проблем передачи информации РАН

127051, г. Москва, Большой Каретный переулок д.19 стр. 1., ИППИ РАН

Телефон: +7 (495) 650-42-25

Подпись Б.М. Миллера удостоверяю

