

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета **Пантелеева Андрея Владимировича**
на диссертационную работу **Севостьянова Руслана Андреевича**
**«Многоцелевое управление подвижными объектами
с компенсацией запаздывания»**,

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертационная работа посвящена актуальной проблематике – задачам анализа и синтеза систем автоматического управления движением подвижных объектов. Она продолжает исследования в области синтеза многоцелевых законов управления с целью возможности удовлетворения все возрастающих требований к качеству переходных процессов и обеспечения функционирования в разнообразных режимах эксплуатации. Кроме того, актуальной проблемой при реализации реальных систем управления является учет цифровой природы бортовых вычислительных устройств, которые, как правило, имеют довольно ограниченные вычислительные ресурсы.

Важной проблемой при использовании цифровых бортовых вычислителей является наличие запаздывания управляющего сигнала. Как правило, запаздывание приводит к значительному ухудшению качества динамики замкнутой системы. Таким образом, еще одним требованием к современным системам управления является компенсация запаздывания для повышения надежности эксплуатации подвижных объектов и улучшения характеристик их движения.

Поскольку современные транспортные средства и робототехнические комплексы почти всегда оснащены визуальными сенсорами, т.е. видеокамерами, жестко закрепленными на корпусе, использование информации, полученной с изображений, может значительно повысить качество управления подвижными объектами. Таким образом, еще одной важной задачей является учет визуальной информации в контуре обратной связи.

Поэтому **актуальность** диссертационной работы Севостьянова Р.А. определяется необходимостью разработки новых методов анализа и синтеза многоцелевых законов управления подвижными объектами в различных режимах

функционирования с учетом наличия комплекса требований к динамике замкнутой системы, постоянного запаздывания управляющего сигнала и визуальной информации.

В первой главе формализуется базовая задача синтеза многоцелевого регулятора с компенсацией запаздывания. Многоцелевой регулятор состоит из асимптотического наблюдателя, динамического корректора и уравнения управляющего сигнала. Приводятся обоснования для выбора значений отдельных настраиваемых элементов регулятора. Показано, что можно сначала синтезировать многоцелевой регулятор для системы без запаздывания, а затем, за счет описанных в работе преобразований, получить новый регулятор, способный компенсировать постоянное запаздывание. Термин “компенсация запаздывания” понимается в смысле получения такой передаточной матрицы замкнутой системы от входа к выходу, которая совпадает с аналогичной передаточной матрицей в системе без запаздывания в законе управления. Основной идеей является решение проблемы прогноза векторов состояния и выхода системы на величину запаздывания. Также здесь приводится цифровой вариант полученного регулятора, ориентированный на реализацию на бортовом устройстве.

Вторая глава посвящена решению задачи динамического позиционирования подвижного объекта с использованием визуальной информации в контуре обратной связи. На основе общего подхода, изложенного в первой главе, предложены алгоритмы синтеза многоцелевого регулятора с учетом и без учета запаздывания. Приводятся примеры использования описанного подхода на базе имитационного моделирования движения мобильных роботов двух видов.

Третья глава посвящена задаче стабилизации движения нелинейных систем с применением линеаризации обратной связью. Тем самым задача синтеза многоцелевого регулятора сводится к рассмотренной в главе 1. Приведены алгоритмы синтеза многоцелевой обратной связи как для системы без запаздывания, так и с его компенсацией. Предложенный подход проиллюстрирован результатами экспериментов с имитационной моделью двухзвенного робота-манипулятора.

В четвертой главе рассмотрена прикладная задача управления движением судна на воздушной подушке с учетом комплекса требований и компенсацией запаздывания. Описывается модель такого судна и процесс синтеза многоцелевого регулятора, приводятся примеры имитационного моделирования движения в различных режимах функционирования.

Научная новизна и теоретическая значимость проведенного исследования заключается в разработке новых методов анализа и синтеза многоцелевых обратных связей с компенсацией запаздывания. Особое внимание в работе отведено синтезу систем управления с визуальной обратной связью и нелинейных систем. Предложены новые методы синтеза многоцелевых регуляторов с компенсацией запаздывания для задач визуального динамического позиционирования, а также для управления движением нелинейных систем, допускающих линеаризацию обратной связью. Разработан метод синтеза многоцелевой структуры управления в задаче стабилизации движения судна на воздушной подушке.

Практическая значимость полученных результатов заключается в ориентации на возможность практической реализации предложенных законов управления на бортовых цифровых устройствах с учетом работы в режиме реального времени. Теоретические результаты диссертации успешно использованы в ряде грантов и контрактов. Эффективность и применимость предложенного автором подхода иллюстрируется достаточным количеством описанных практических примеров: задачам управления мобильными роботами, роботами-манипуляторами, современными морскими судами. Результаты работы позволяют значительно повысить эффективность решения сложных прикладных задач управления подвижными объектами.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов диссертации определяется строгими математическими доказательствами всех представленных в работе утверждений, апробацией результатов, полученных в диссертации, на всероссийских и международных научных конференциях, а также публикациями в рецензируемых отечественных и зарубежных научных

изданиях, включая рецензируемые журналы, входящие в Перечень ВАК, и в системы цитирования Scopus и Web of Science.

В то же время работа не лишена некоторых недостатков. Основные замечания по диссертационной работе состоят в следующем.

1. Преобразование непрерывного регулятора к дискретному виду требует дополнительных пояснений входящих в него матриц (стр. 19 и стр. 33).

2. В условия теоремы 1.1 следовало бы добавить условие гурвицевости матрицы $A+BK$, о котором автор предварительно упомянул на стр. 22.

3. К уравнениям (2.8) и (2.9) следовало бы добавить соответствующие начальные условия.

4. В условии теоремы 2.2 следовало указать на гурвицевость матрицы $A-H_v$, что соответствует приведенному в работе доказательству.

5. В уравнениях (2.19) и (3.15) аргумент s передаточных матриц следовало заменить на p (оператор дифференцирования).

6. Формулировки постановок задач о фильтрации полигармонических возмущений (теоремы 3.2 и 2.5) нуждаются в комментариях. Видимо, имеется в виду равенство нулю соответствующих элементов частотных характеристик многомерных систем на отмеченных частотах.

7. Замечания редакционного характера: обозначение управления переменной τ в главе 3 является неудачным, так далее эта же переменная играет роль величины запаздывания в главе 4; имеется опечатка в описании множества M после (1.5).

Тем не менее, указанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы.

К достоинствам работы следует отнести единую методологию синтеза многоцелевых систем с обратной связью, эффективность которой продемонстрирована на решении важных прикладных задач.

На основании изложенного считаю, что диссертация Севостьянова Р.А. на тему «Многоцелевое управление подвижными объектами с компенсацией

запаздывания» удовлетворяет всем требованиям Приказа СПбГУ от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Севостьянов Руслан Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Член диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой математической кибернетики
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»

А.В. Пантелеев

8 апреля 2024 г.

Подпись А.В. Пантелеева заверяю
Директор дирекции института
"Компьютерные науки и прикладная математика"
Московского авиационного института (национального
исследовательского университета)



С.С. Крылов