

УТВЕРЖДАЮ

Директор по стратегическому развитию,
научному и
информационному сопровождению
АО «Концерн «НПО «Аврора»,
доктор технических наук, профессор

" 04 " 04.2024  В.Ю. Бобрович



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

акционерного общества
«Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора»»

на диссертацию **Севостьянова Руслана Андреевича**
«Многоцелевое управление подвижными объектами с компенсацией
запаздывания»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление
и обработка информации, статистика

В центре внимания диссертационной работы Р.А. Севостьянова находятся вопросы синтеза обратных связей для стабилизации движения подвижных объектов различных классов. При этом важной особенностью является учет запаздывания управляющего сигнала. Запаздывания неизбежно присутствуют в любой физической системе управления, зачастую приводя к заметному ухудшению качества переходного процесса, поэтому с практической точки зрения задача компенсации запаздывания в таких системах является определяющей для улучшения динамики.

В качестве основной идеологии для синтеза обратных связей автором выбрана так называемая *многоцелевая структура управления*, которая обеспечивает возможность учета ряда требований к динамике управляемого движения в различных режимах функционирования. Базовый многоцелевой подход в данной работе расширяется за счет учета постоянного запаздывания, использования визуальной информации в контуре управления, а также использования линеаризации обратной связью для нелинейных систем. Отдельно стоит отметить тот важный факт, что предлагаемые алгоритмы синтеза и сама структура законов управления изначально ориентированы на реализацию на бортовых цифровых устройствах, что накладывает определенные ограничения и требования ввиду дефицита вычислительных ресурсов.

33-06-383 от 16.04.2024

Отмеченные обстоятельства позволяют сделать вывод о том, что представленная работа имеет определенную практическую направленность, основываясь при этом на строгом теоретическом фундаменте. При этом рассматриваемая проблематика, направленная на внедрение современных подходов к синтезу обратных связей в разработку практических систем управления реальными подвижными объектами, является **достаточно актуальной**. В настоящее время методы компенсации запаздывания и учета визуальной информации в системах управления активно исследуются, однако ряд теоретических и практических вопросов все еще остается нерешенным, поэтому разработка новых подходов к созданию систем управления движением всегда остается актуальной, в особенности с учетом необходимости работы в режиме реального времени.

Также необходимо отметить, что отдельная глава диссертации полностью посвящена демонстрации эффективности предложенных подходов на примере задачи стабилизации движения судна на воздушной подушке (СВП). Подобные задачи по управлению передовыми классами морских подвижных объектов соответствуют тематике современных НИР и ОКР по исследованию и разработке систем управления в судостроении, в основе которых лежат передовые прикладные методы и компьютерные технологии, основывающиеся на фундаментальных положениях теории управления. Указанные факты обосновывают **теоретическую и практическую значимость** представленной работы, результаты которой могут быть внедрены для повышения эффективности современных систем управления.

Диссертационная работа Р.А. Севостьянова изложена на 139 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 103 наименования.

В первой главе вводится общее определение *многоцелевого регулятора* для стабилизации движения подвижного объекта по линеаризованной модели динамики. Приводится описание режимов функционирования совместно с возможными требованиями к динамике управляемого движения в виде функционалов качества, от которых зависит выбор настраиваемых элементов многоцелевой обратной связи. Предлагается подход к компенсации запаздывания на основе использования прогноза состояния объекта управления. Описан процесс дискретизации полученного регулятора, что обеспечивает возможность его реализации непосредственно на бортовом цифровом оборудовании.

Особым достоинством результатов данной главы является тот факт, что для компенсации постоянного запаздывания достаточно синтезировать многоцелевой регулятор для обеспечения желаемых динамических характеристик системы без запаздывания. Учет запаздывания обеспечивается определенной трансформацией полученного регулятора, сохраняющей передаточную матрицу исходной замкнутой системы, что значительно облегчает процесс синтеза за счет сведения к более простой задаче.

Вторая глава работы Р.А. Севостьянова посвящена вопросам многоцелевого управления подвижными объектами с использованием визуальной информации в контуре обратной связи. Сутью рассматриваемой задачи является минимизация отклонения фактической проекции некоторого визуального маркера от желаемого положения на плоскости изображения. Также описан процесс трансформации син-

тезирванного многоцелевого регулятора для компенсации постоянного запаздывания. В конце главы приводятся примеры экспериментов с компьютерными моделями мобильных роботов в различных режимах функционирования для иллюстрации работоспособности предлагаемого подхода.

Главным достоинством полученных в главе результатов являются сформулированные алгоритмы синтеза многоцелевой визуальной обратной связи с учетом и без учета запаздывания, что позволяет применить предложенный метод в реальных бортовых системах.

Третья глава диссертации посвящена исследованию вопросов многоцелевого управления движением существенно нелинейных динамических систем, допускающих, однако, линеаризацию обратной связью. Здесь также приводятся алгоритмы синтеза как многоцелевых регуляторов для систем без запаздывания, так и трансформации таких регуляторов для компенсации запаздывания. Описанный подход подкрепляется демонстрацией экспериментов с компьютерной моделью двухзвенного робота-манипулятора в различных режимах функционирования.

Четвертая глава, как был указано выше, посвящена задаче стабилизации бокового движения СВП в различных режимах движения с компенсацией запаздывания. Достаточно подробно описывается исходная нелинейная математическая модель СВП, ее линеаризация в рассматриваемых режимах движения, а также процесс синтеза многоцелевого регулятора сначала без компенсации запаздывания, а затем и с его учетом. Для каждого режима приводится иллюстрация в виде графиков динамики компьютерной модели СВП.

Особым достоинством полученных здесь результатов, очевидно, является явная практическая направленность предложенного подхода. При этом ввиду схожести линейных математических моделей динамики бокового движения СВП и классических морских судов, полученные результаты могут быть относительно просто применены в задачах проектирования систем управления такими судами.

Среди полученных автором диссертационной работы результатов, на наш взгляд, особую значимость представляют следующие положения, которые в значительной мере определяют новизну и оригинальность предлагаемого подхода, а также обладают определенным теоретическим и практическим весом:

1. Детально исследован вопрос компенсации запаздывания при синтезе законов управления с многоцелевой структурой. Этот вопрос особо важен для судостроительной отрасли, поскольку все реальные физические системы управления так или иначе подвержены влиянию запаздывания ввиду цифровой природы бортовых вычислительных средств, а также технических особенностей приводов исполнительных устройств.

2. Сформированы конкретные алгоритмы синтеза многоцелевых законов управления движением с использованием визуальной информации. Современные бортовые системы управления все чаще дополняются визуальными сенсорами, поэтому использование изображений является очень актуальной задачей.

3. Предложены алгоритмы многоцелевого синтеза для нелинейных систем на основе линеаризации обратной связью. Исходные математические модели динамики морских подвижных объектов всегда являются нелинейными, поэтому

компенсация нелинейности позволяет расширить список режимов, в которых могут эффективно применяться многоцелевые регуляторы.

4. Разработан алгоритм синтеза многоцелевого регулятора для стабилизации движения судна на воздушной подушке с учетом запаздывания. Полученные результаты могут быть применены для других классов морских судов.

Помимо определенных достоинств можно отметить ряд следующих замечаний к работе.

1. В численных экспериментах, иллюстрирующих результаты второй и третьей глав, конкретные приведенные значения настраиваемых элементов многоцелевой структуры никак не обоснованы. Непонятно, из каких соображений они были выбраны именно такими, а не иными?

2. Во всех главах в качестве последнего режима функционирования рассматривается режим при воздействии полигармонического возмущения. Однако в реальности, например, морское волнение всегда определяется более сложными моделями. Возможно, стоило бы дополнить этот режим, по крайней мере, случайным возмущением с известными характеристиками.

3. Линеаризация обратной связью нелинейной системы усложнит ее структуру, что в свою очередь может ухудшить динамику переходного процесса. Этот вопрос не исследован в работе.

Тем не менее, приведенные замечания не снижают общей высокой оценки работы, имеющей существенную теоретическую значимость и очевидную практическую направленность. Характеризуя диссертацию Р.А. Севостьянова в целом, следует признать, что она является завершенным научным трудом, представляющим несомненный теоретический и практический интерес. Полученные автором результаты являются новыми, их достоверность подтверждается строгими доказательствами. Состоятельность и эффективность разработанных автором методов и расчетных алгоритмов подтверждается содержательными примерами по управлению различными видами подвижных объектов, в частности – судном на воздушной подушке. Также стоит отметить указанное в тексте использование результатов диссертации в реальных работах по исследованию и проектированию систем управления морскими судами и мобильными роботами, выполненных в СПбГУ в рамках конкретных грантов и контрактов. Это подтверждает вывод о практической значимости данного диссертационного исследования.

Считаем, что полученные результаты могут найти применение в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работах, направленных на исследование и проектирование систем управления движением подвижных объектов.

На основании изложенного считаем, что диссертационная работа по своему содержанию, полученным результатам и оформлению 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 физико-математических наук, а ее автор, Севостьянов Руслан Андреевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Отзыв обсужден и принят единогласно на расширенном заседании отдела подготовки научных кадров 04.03.2024 г. протокол № 03/24-от 04 марта 2024 г.


Начальник отдела –
к.т.н., доцент



Смольников Александр Васильевич

e-mail: aspin.avrora@inbox.ru, тел.: +7 (812) 643-1831

главный научный сотрудник,
д.т.н., профессор



Кобзев Валентин Васильевич

e-mail: aspin.avrora@inbox.ru, тел.: +7 (812) 643-1831

ведущий научный сотрудник,
д.т.н., профессор



Шальго Анатолий Абрамович

ее-mail: aspin.avrora@inbox.ru, тел.: +7 (812) 643-1831

ведущий научный сотрудник,
д. т.н., профессор



Дядик Александр Николаевич.

Акционерное общество «Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора»

Адрес организации: 194021, Россия, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 15.

Тел.: +7 (812) 643-18-31, e-mail: mail@avrorasystems.com