

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**доктора технических наук, Гущина Павла Александровича**

о диссертационной работе Кокунько Юлии Георгиевны

«Методы и алгоритмы динамического дифференцирования и сглаживания сигналов, задающих траектории мобильных роботов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

### **Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа Кокунько Ю.Г. посвящена проблемам синтеза динамических дифференциаторов и робастных обратных связей в системах траекторного управления с учетом ограничений на переменные состояния и управление применительно к мобильными роботам. Актуальность темы не вызывает сомнений. Решение рассматриваемых проблем в условиях действия внешних возмущений и неполных измерений требует привлечения и разработки специальных методов автоматического управления и наблюдения.

### **Содержание и структура работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений, подтверждающих внедрение полученных результатов. Во введении обосновывается актуальность темы исследования. В первой главе приведены краткие обзоры динамических дифференциаторов и методов планирования траекторий. Во второй главе представлено развитие метода каскадного синтеза наблюдателей состояния с кусочно-линейной коррекцией для систем с неопределенным входом. Для восстановления производных кусочно-дифференцируемых сигналов формализованы алгоритмы синтеза дифференциатора–наблюдателя, имеющего более простую структуру и настройку, чем аналогичные наблюдатели стандартной структуры. В третьей главе на основе блочного подхода к стабилизации систем управления с несогласованными возмущениями формализованы метод и алгоритмы синтеза следящего дифференциатора с сигмовидными корректирующими воздействиями, обеспечивающего сглаживание и дифференцирование кусочно-непрерывных сигналов с автоматическим учетом заданных ограничений на производные любого конечного порядка. В четвертой главе

разработанные методы динамического дифференцирования и сглаживания детерминированных сигналов применяются для беспилотных колесных платформ в задачах траекторного управления и планирования движения одиночного робота на полигоне. В пятой главе представлены подходы к синтезу динамической обратной связи в задаче управления движением центра масс беспилотного летательного аппарата в условиях действия внешних неконтролируемых возмущений. В заключении сформулированы выводы по результатам диссертационного исследования.

Материал диссертационной работы логично структурирован, четко и аккуратно изложен. Все утверждения сопровождаются строгими математическими доказательствами и результатами численного моделирования. Автореферат кратко, но достаточно объективно отражает содержание диссертации.

### **Научная новизна**

Автором получены следующие новые научные результаты:

- 1) разработан алгоритм каскадного синтеза дифференциатора–наблюдателя с кусочно-линейными корректирующими воздействиями, отличающийся более простой настройкой по сравнению с аналогичным наблюдателем стандартной структуры;
- 2) предложен универсальный и простой в вычислительной реализации метод динамического сглаживания на основе следящих дифференциаторов, позволяющих получить в сигнальном виде реализуемые эталонные траектории и их производные требуемого порядка с выполнением заданных ограничений, не требующие выполнения аналитических расчетов коэффициентов в реальном времени в отличие от сплайновой интерполяции;
- 3) для систем управления движением центра масс колесной платформы и беспилотного летательного аппарата самолетного типа разработаны регуляторы с сигмовидными обратными связями, в отличие от существующих решений обеспечивающие подавление внешних возмущений и отслеживание заданной траектории с заданной точностью при выполнении проектных ограничений на переменные состояния и управления;

4) следящие дифференциаторы эффективно использованы в алгоритмах планирования движения одиночного робота на полигоне, в частности, для решения проблемы въезда на маршрут в стартовой точке.

### **Обоснованность и достоверность полученных научных результатов**

Основные положения диссертационной работы аналитически обоснованы с корректным применением математического аппарата, подтверждаются результатами численного моделирования и актами о внедрении.

Достоверность полученных результатов подтверждается анализом отечественных и зарубежных работ по теме исследования, а также внушительным списком научно-практических конференций и рецензируемых журналов, в которых опубликованы основные результаты диссертации.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Основная теоретическая значимость работы заключается в создании и формализации нового подхода к порождению достаточно гладких эталонных траекторий и их производных, удовлетворяющих заданным требованиям, принципиально отличающегося от известных аналитических подходов к сглаживанию опорных маршрутов мобильных роботов на плоскости и в пространстве. Показано, что применение динамических дифференциаторов в задачах траекторного управления упрощает проблему синтеза собственно закона стабилизирующего управления, так как при наличии достижимых эталонных траекторий в замкнутых следящих системах даже с линейной обратной связью гарантируется выполнение ограничений на переменные состояния и управления.

Практическая ценность состоит в том, что разработанные методы и алгоритмы динамического дифференцирования и сглаживания сигналов позволяют ускорить, упростить и повысить производительность процесса планирования траекторий, а также обработки сигналов в реальном времени, что играет важную роль для высокоточного, безаварийного траекторного управления механическими объектами и обеспечения маневренности при движении в динамической среде.

Представленные в работе результаты численных экспериментов подтверждают целесообразность использования разработанных дифференциаторов в практических целях.

### **Замечания по диссертации**

После прочтения работы можно отметить следующие замечания.

1. В цели работы говорится о методах и алгоритмах, обеспечивающих снижение вычислительной нагрузки. Однако в работе не представлены результаты сравнительного анализа созданных методов сглаживания с существующими с количественными оценками вычислительной нагрузки. Этот вопрос необходимо пояснить.

2. Почему в главе 3 отдается предпочтение гиперболическому тангенсу? Ведь для качественного управления необходимо приближать значения гиперболического тангенса к релейной функции. В работе нет пояснений, почему в данных построениях сразу не была выбрана релейная функция.

3. В разделе 3.4 в экспериментах 3.3.3 и 3.3.4, представленных на рис. 3.8, в изгибах типа «клюв» оценка кривой значительно лучше, чем в верхних и нижних частях фигур, где стороны изменяются под углом 90 градусов. Казалось бы, в «клювах» значение производной должно быть значительно выше, чем в переходах под углом 90 градусов. Но на картинках все наоборот. Указанные графики требуют разъяснения.

4. На стр. 147 указано ограничение на сигнал управления, которое зависит от верхних оценок на его координаты. В данную оценку подставляются ограничения, которые определены свойством системы. Но не доказано, что закон управления (5.13) будет гарантировать нахождение траекторий замкнутой системы в данных пределах.

### **Заключение**

Указанные замечания не снижают общее положительное впечатление от диссертационной работы, которая является самостоятельным, полноценным и логически завершенным научным исследованием, выполненным на актуальную тему, обладающим научной новизной и практической значимостью. В работе представлены обоснованные комплексные решения научных задач по синтезу динамических

дифференциаторов и следящих систем с выполнением заданных требований, имеющих значение для развития теории и практики траекторного управления мобильными роботами.

Диссертационная работа Кокунько Юлии Георгиевны «Методы и алгоритмы динамического дифференцирования и сглаживания сигналов, задающих траектории мобильных роботов» соответствует специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», удовлетворяет требованиям, предъявляемым в Положении о порядке присуждения ученых степеней к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

На включение персональных данных, содержащихся в отзыве, в документах, связанных с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку согласен.

Официальный оппонент:

старший научный сотрудник

лаборатории «Адаптивное и интеллектуальное

управление сетевыми и распределенными системами»

Федерального государственного бюджетного

учреждение науки Института проблем машиноведения

Российской академии наук,

доктор технических наук



Гущин Павел Александрович

«25» ноября 2024 г.

Почтовый адрес:

199178, г. Санкт-Петербург, Большой пр. ВО, дом 61, ИПМаш РАН

Телефон: +7 (812) 321-47-78

Адрес электронной почты: guschin.p@mail.ru



Подпись: Гущина П.А.  
ПОДПИСАНО: Помощник Директора  
ИПМАШ РАН

«25» ноября 2024 г.