

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.107.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А.
ТРАПЕЗНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 16.12.2024 г. № 7

О присуждении **Кокунько Юлии Георгиевне**, гражданке
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы и алгоритмы динамического дифференцирования и сглаживания сигналов, задающих траектории мобильных роботов» по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 14 октября 2024 г. (протокол заседания № 6) диссертационным советом 24.1.107.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН) (117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, утвержденным приказом ВАК № 1223-в от 29.12.2000 г., перерегистрирован 11.04.2012 г., приказ №105/нк, приказ №561/нк от 03.06.2021 г., приказ № 2153/нк от 27.11.2023 г., приказ №112/нк от 19.11.2024 г.).

Соискатель Кокунько Юлия Георгиевна, рожденная 10 ноября 1995, в 2018 г. с отличием окончила магистратуру ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» по направлению подготовки 01.04.04 «Прикладная математика», факультет фундаментальных наук (ФН-12). С 2020 г. по 2023 г. была прикреплена в качестве соискателя ученой степени кандидата наук к отделу докторантуры и аспирантуры ИПУ РАН для подготовки диссертационной работы по научной специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации». В настоящее время работает научным сотрудником в лаборатории № 37 «Систем с разрывными управлениями» ИПУ РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории № 37 «Систем с разрывными управлениями» ИПУ РАН. Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Краснова Светлана Анатольевна, главный научный сотрудник лаборатории № 37 «Систем с разрывными управлениями» ИПУ РАН.

Официальные оппоненты:

Гущин Павел Александрович, доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Адаптивное и интеллектуальное управление сетевыми и распределенными системами» Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Института проблем машиноведения Российской академии наук;

Голубев Алексей Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, доцент по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации», старший научный сотрудник лаборатории Механики систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – **Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»** (ФИЦ ИУ РАН, г. Москва) в своем положительном отзыве, подписанным главным научным сотрудником отдела №71 ФИЦ ИУ РАН, д.ф.-м.н., профессором **Дмитриевым Михаилом Геннадьевичем**, и утвержденном директором ФИЦ ИУ РАН чл.-корр. РАН **Посыпкиным Михаилом Анатольевичем**, указала, что диссертация является завершенным научно-квалификационным исследованием по актуальной тематике, выполненным на высоком уровне и имеющим научную новизну, теоретическую значимость и практическую ценность. Соискатель провел исследование с привлечением и развитием специальных методов теории автоматического управления, направленное на решение научных задач по информационному обеспечению и синтезу следящих систем в условиях проектных ограничений и действия внешних возмущений. Работа вносит существенный вклад в развитие теории и практики траекторного управления мобильными роботами. Результаты и выводы, приведенные в диссертации, рекомендуется использовать: на подготовительной стадии для планирования полигонов и движений одиночных роботов в среде со стационарными препятствиями; при проектировании систем траекторного управления колесными платформами и беспилотными летательными аппаратами самолетного типа в условиях воздействия внешних неконтролируемых возмущений; для подготовки специалистов по проектированию систем управления мобильными роботами, в частности, в учебных дисциплинах по специальным разделам теории автоматического управления.

Заключение ведущей организации имеет следующие замечания:

1. В диссертации представлен новый подход к сглаживанию опорных траекторий, которые либо поступают в реальном времени из автономного источника, либо задаются на этапе планирования набором путевых точек. Однако, вопрос применимости данных алгоритмов в задачах уклонения от столкновений с движущимися препятствиями остается открытым.

2. В прикладных главах представлены различные варианты синтеза статической и динамической обратной связи для решения задач путевой

стабилизации и слежения для центров масс колесных платформ и БПЛА самолетного типа. Следовало бы дать конкретные рекомендации по целесообразности их использования в различных рабочих сценариях.

3. В пятой главе при управлении движением центра масс БПЛА рассматривается только режим полета. Для целостности не хватает исследований, связанных с рассмотрением процессов планирования и управления движением в режимах взлета и захода на посадку, которые имеют свои особенности.

Отмечено, что указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Кокунько Ю.Г.

В отзывах оппонентов имеются замечания.

В отзыве Гущина П.А.:

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.

В отзыве А.Е. Голубева:

1. В главе 3 при синтезе следящего дифференциатора центральным моментом является выполнение заданных ограничений на переменные состояния дифференциатора, что обеспечивается используемыми сигмовидными локальными связями и формализованной системой двойных неравенств для выбора их коэффициентов. Однако в работе отсутствует сравнение полученных результатов с существующими подходами к решению аналогичных задач, например, с использованием логарифмических барьерных функций Ляпунова.

2. Указано, что синтез следящего дифференциатора в главе 3 и следящих систем в разделах 4.1 и 5.1 основывается на блочном принципе управления. В западной литературе подобные построения именуются как метод бэкстеппинга (backstepping). Следовало бы дать пояснения к используемой терминологии и указать отличительные особенности (если таковые имеются) указанных подходов.

3. В современных условиях траекторное управление мобильными роботами реализуется с помощью микропроцессоров. Однако в диссертационной работе не представлен анализ проблем цифровой реализации разработанных алгоритмов управления и динамического дифференцирования.

Отмечено, что сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Кокунько Ю.Г.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также их согласием.

По теме диссертации соискателем опубликовано 32 статьи, из них 17 – в рецензируемых журналах (в том числе: 5 – в журналах категории К1 Перечня ВАК по специальности 2.3.1. (технические науки); 6 – в журналах, индексируемых Web of Science Q1, Q2); 10 – в сборниках, индексируемых Scopus; 5 – в сборниках трудов конференций. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах отсутствуют.

Наиболее значимые публикации из числа рецензируемых изданий:

Кокунько Ю.Г., Краснова С.А. Формирование эталонных траекторий для беспилотных колесных платформ с учетом ограничений на скорость, ускорение и рывок // Мехатроника, Автоматизация, Управление. – 2024. – Т.25, №6. – С.320–331.

Antipov A.S., Kokunko Yu.G., Krasnova S.A., Utkin V.A., Utkin A.V. Direct Control of the Endpoint of the Manipulator under Non-smooth Uncertainty and Reference Trajectories // Journal of The Franklin Institute. – 2023. – Vol. 360, Iss. 17. – P. 13430–13458.

Кокунько Ю.Г., Краснова С.А., Уткин В.А. Каскадный синтез дифференциаторов с кусочно-линейными корректирующими воздействиями // Автоматика и телемеханика. – 2021. – № 7. – С. 37–68.

Кокунько Ю.Г., Краснова С.А. Два подхода к синтезу инвариантной системы слежения для беспилотного летательного аппарата // Управление большими системами. – 2020. – Вып. 85. – С. 113–142.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов.

1. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, доцента, начальника научно-исследовательской лаборатории НИЛ-17 «Мехатроника и автоматика» научно-исследовательской части ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» **Шаврина П.А.** содержит следующие замечания:

- Не совсем понятно употребление термина «дифференциатор без собственных движений», ибо дифференциатор представляет собой динамическую систему. И хотя «в большом», когда корректирующие воздействия достигают своих ограничений, порядок собственных движений по соответствующей переменной равен единице, в окрестности нуля этот порядок на единицу больше порядка оцениваемой производной. Как следствие, если в задачах формирования заданных траекторий, компенсации возмущений предлагаемое решение допустимо в той или иной мере, то использование полученных оценок в контуре обратной связи, безусловно, требует дополнительного изучения, что, в свою очередь, существенно ограничивает область применения указанных дифференциаторов.

- Известно, что в системах с качением имеет место явление «увода» вследствие эластичности колес. Учет этого фактора в модели подвижной платформы, коль скоро речь идет о реализуемых траекториях, мог бы, в конечном итоге, привести к заметному повышению точности воспроизведения желаемого движения на практике.

2. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Системы автоматического и интеллектуального управления» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» **Рыбникова С.И.** содержит следующие замечания:

- В главе 2 и 3 эффективно решаются задачи восстановления с заданной точностью производных детерминированных сигналов, хотя в приложениях они зашумлены, и были бы уместны оценки случайных составляющих погрешностей восстановления.

- При решении задачи автоматического управления движением центра масс беспилотного летательного аппарата самолетного типа при действии внешних возмущений желательно было бы произвести учет динамики внутренних, исполнительных подсистем управления движением и использовать типовые математические модели ветровых возмущений для повышения достоверности оценок точности предложенных решений.

3. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, профессора кафедры математического моделирования ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» **Фетисова Д.А.** содержит следующие замечания:

- В разделе 3, судя по автореферату, отсутствует общая математическая постановка задачи для динамической системы с одним входом. Ясно, что сглаживание входного сигнала можно рассматривать независимо от управляемой системы. Но общая постановка проясняет в лучшей степени влияние сглаживания на управляемую систему.

- Реализация предлагаемых алгоритмов в виртуальных средах неизбежно приводит к дискретизации рассматриваемых динамических систем, что вносит дополнительные погрешности в динамику системы. Судя по автореферату, этот вопрос не обсуждается, хотя, возможно, он легко снимается интерпретацией этой погрешности как дополнительного ограниченного возмущения.

- В автореферате нет обсуждения пограничного поведения следящего дифференциатора, когда управляющий сигнал выходит на ограничение («на полку») и траектория управляемой системы сходит с опорной.

4. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника ФГБУН Института проблем машиноведения Российской академии наук **Фургата И.Б.** содержит следующие замечания:

- В формуле (5) автореферата используется функция насыщения. Однако в формуле (6) уже используется релейная функция. Выводы в (6) относительно релейной функции не вызывают сомнений, но если формулы (5) и (6) связаны, то почему в (6) не рассматривается функция насыщения? Дело в том, что для функции насыщения выводы (6) (первая строка) могут быть неверны, когда функция не насытилась.

- К нелинейной системе (24) применяется закон управления (26) без обсуждения существования множества притяжения в замкнутой системе, которое, возможно будет меньше, чем (25). Правильно ли понимается, что система (24) будет стабилизируема с помощью (26) при условии, что начальные условия могут быть любыми из (25)? Аналогичный вопрос и к задаче из 4-й главы.

5. Отзыв на автореферат доктора технических наук, доцента, доцента кафедры электропривода, автоматики и управления в технических системах ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» **Васильева Е.М.** содержит следующие замечания:

- Судя по автореферату, в работе не представлен анализ робастности разработанных дифференциаторов.

- В автореферате не затронута проблема зашумленности обрабатываемых сигналов, особенно в дифференциаторе-наблюдателе.

6. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Автоматика» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» **Юркевича В.Д.** содержит следующие замечания:

- На стр. 9 автореферата отмечается, что оценки (8) для выбора коэффициентов кусочно-линейной коррекции (5) были получены на основе метода разделения движений без учета времени сходимости ошибок наблюдения в заданные окрестности нуля. Так как время сходимости ошибок наблюдения является существенным фактором в методе разделения движений, поэтому желательно уточнить оценки (8) заданием дополнительных требований на скорость сходимости ошибок наблюдения.

- Требуется дополнительное обоснование свойства устойчивости процессов в дифференциаторе (3) (стр. 9 автореферата) при возникновении режима насыщения для корректирующих воздействий (5).

- Рассматриваемая на стр. 12 автореферата система неравенств (21) предполагается совместной. Отсутствуют пояснения и рекомендация по реализации процедуры синтеза следящего дифференциатора с сигмовидной коррекцией в случае, если была получена несовместная система неравенств (21).

Во всех отзывах отмечено, что приведенные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы. Все отзывы положительные. На замечания соискателем даны подробные ответы в ходе заседания.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработан** алгоритм каскадного синтеза дифференциатора–наблюдателя без собственных движений с кусочно-линейной коррекцией, обеспечивающий восстановление производных любого требуемого порядка детерминированных кусочно-гладких сигналов с заданной точностью за заданное время;

- **разработан** метод динамического сглаживания опорных траекторий с использованием следящих дифференциаторов, позволяющий получить в сигнальном виде плавные и реализуемые эталонные траектории и их производные требуемого порядка;

- **разработан** алгоритм блочного синтеза следящего дифференциатора с сигмовидными обратными связями, обеспечивающий выполнение ограничений на восстанавливаемые производные при динамическом сглаживании кусочно-непрерывных сигналов;

- **предложен** комплекс алгоритмов планирования движения одиночного робота на полигоне, который включает: составление опорной негладкой 3D-траектории и ее сглаживание; плавный перевод объекта из произвольных начальных условий с учетом ограничений в стартовую точку маршрута; визуализацию безопасного коридора с учетом габаритов транспортного средства;

- **получены** комплексные конструктивные решения по синтезу статической и динамической обратной связи с использованием дифференциаторов различных

типов в системах траекторного управления центром масс беспилотных колесных платформ и БПЛА самолетного типа в условиях действия внешних возмущений, обеспечивающие заданные характеристики процесса слежения и выполнение проектных ограничений на переменные состояния и управления.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **проведена модернизация** методов построения и синтеза динамических дифференциаторов–наблюдателей с кусочно-линейной коррекцией, универсально применимых в системах автоматического управления для восстановления: производных задающих воздействий, поступающих из автономного источника; производных измеряемых датчиками сигналов; внешних возмущений по их воздействию на объект управления;

- **формализован метод** динамического сглаживания и дифференцирования сигналов с учетом заданных ограничений на основе следящих дифференциаторов с сигмовидной коррекцией;

- **доказаны теоремы** о существовании коэффициентов усиления и разработаны декомпозиционные процедуры их настройки для дифференциаторов–наблюдателей и следящих дифференциаторов, обеспечивающих заданные характеристики процессов оценивания и слежения соответственно.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанные следящие дифференциаторы и алгоритмы управления для БПЛА в условиях ветровых возмущений:

- программно реализованы в симуляторе 3D обстановки для моделирования фигур пилотажа и полетных заданий ООО «ПЛАЗ»;

- интегрированы в виртуальный полигон ООО «Универсальные информационные технологии» для планирования траекторий и симуляции полета в различных атмосферных условиях, что подтверждается актами о внедрении.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **теория**, лежащая в основе разработанных методов и алгоритмов, основывается на строгом применении используемого математического аппарата. Полученные в работе результаты являются обоснованными. Приведены необходимые выкладки, демонстрирующие правильность результатов, даны ссылки на предшествующие работы по рассматриваемой тематике. Результаты работы в достаточной мере опубликованы и обсуждались на различных научных конференциях. Все полученные алгоритмы опробованы на модельных и экспериментальных данных, продемонстрирована их эффективность.

- **установлено**, что научные результаты, представленные в диссертации, не противоречат общепринятым концепциям и положениям, научные положения и

выводы подтверждены строгими математическими доказательствами и результатами численных экспериментов.

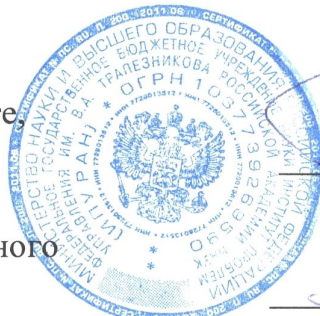
Все исследования, представленные в диссертационной работе, проведены **лично соискателем** в процессе научной деятельности. Из совместных публикаций в диссертацию включен тот материал, который непосредственно принадлежит соискателю.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Соискатель Кокунько Ю.Г. достаточно полно ответила на задаваемые ей вопросы.

На заседании 16 декабря 2024 г. диссертационный совет принял решение: за решение научных задач по динамическому дифференцированию и сглаживанию сигналов с выполнением заданных ограничений, имеющих значение для развития теории и практики траекторного управления мобильными роботами, присудить Кокунько Ю.Г. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования по вопросу о присуждении Кокунько Юлии Георгиевне ученой степени кандидата технических наук, из 24 человек, входящих в состав совета, присутствовали и голосовали 24 члена диссертационного совета, из них 8 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации. Результаты голосования: за – 24, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Зам. директора по научной работе
к.ф.-м.н.



Барабанов И.Н.

Зам. председателя диссертационного
совета 24.1.107.01, д.ф.-м.н.

Жилякова Л.Ю.

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.107.01, д.т.н.

Глущенко А.И.

16 декабря 2024 года