

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертационную работу Кабанова Алексея Александровича по теме «Методы и алгоритмы управления автономными подвижными объектами на основе структурно-параметрического синтеза», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (технические науки)

Кабанов Алексей Александрович в 2007 году окончил с отличием Севастопольский национальный технический университет (СевНТУ), г. Севастополь, по специальности «Системы управления и автоматика». С 2007 по 2010 обучался в аспирантуре СевНТУ, по окончании которой был принят на работу в СевНТУ на должность ассистента кафедры Технической кибернетики. В 2011 году Кабанов Алексей Александрович защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Системы и процессы управления», с 2012 года работал в должности доцента кафедры Технической кибернетики, а с 2013 года был переведен на должность декана факультета Автоматики и вычислительной техники СевНТУ.

В 2014 г. университет был реорганизован, и на базе СевНТУ и других вузов г. Севастополя создано Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет» (далее – СевГУ), где Кабанов Алексей Александрович с 2015 года работал в должности доцента кафедры «Информатика и управление в технических системах» (ИУТС), а в 2016 году был избран заведующим кафедры ИУТС. С 2022 по 2025 год работал в должности директора Института радиоэлектроники и интеллектуальных технических систем СевГУ, а с 2025 года по настоящее время работает в должности директора Научно-исследовательского института «Интеллектуальное приборостроение и робототехника» СевГУ.

За время работы в Севастопольском государственном университете Кабанов Алексей Александрович проявил себя в качестве ответственного работника и руководителя, принимая активное участие в реализации научных и образовательных проектов, в формировании и развитии научного коллектива по приоритетному научно-технологическому направлению университета в сфере интеллектуальных технических систем, морской робототехники и беспилотных автономных систем. Под руководством Кабанова Алексея Александровича в 2021 году была создана и успешно работает молодежная научно-исследовательская лаборатория «Робототехника и интеллектуальные системы управления», выполнившая за время своей работы более десятка научно-технических проектов, в т.ч. в рамках государственного задания по науке, в рамках грантов российских научных фондов (РНФ, РФФИ), в рамках хозяйственных договоров и федеральных программ.

В научной деятельности в целом Кабанов Алексей Александрович показывает высокие результаты и как исследователь, и как научный руководитель работ. За последние 10 лет успешно участвовал в выполнении 18 научно-исследовательских проектов, в т.ч. в рамках государственного задания по науке – 4 (из них – 2 как руководитель); в рамках грантов российских научных фондов (РНФ, РФФИ) – 7 (из них – 4 как руководитель); в рамках хозяйственных договоров – 2 (из них – 1 как руководитель); в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки» – 2 (из них – 1 как руководитель), в рамках реализации программы деятельности научно-образовательного центра мирового уровня «МореАгроБиоТех» – 4 (из них – 1 как руководитель). Итоговые личные результаты, полученные Кабановым Алексеем Александровичем в рамках этих исследований, легли в основу его диссертационной работы на тему «Методы и алгоритмы управления автономными подвижными объектами на основе структурно-параметрического синтеза».

Актуальность этой темы определяется тем, что автономные подвижные объекты всё шире используются в различных сферах человеческой деятельности, а требования к надёжности и безопасности их функционирования в условиях неопределённости и действия

случайных возмущений постоянно возрастают. Классические подходы – робастное и адаптивное управление, прогнозирующее управление – либо чрезмерно консервативны, либо не учитывают редкие, но катастрофические события, распределения которых имеют «тяжёлые хвосты». Возникает проблема обеспечения гарантированного выполнения миссий автономными подвижными объектами (АПО) в условиях неопределённости, возмущений и риска редких, но критических событий.

Решение указанной проблемы в диссертации опирается на свойство функциональной устойчивости – интегральное свойство системы, объединяющее робастность, адаптивность и способность к предотвращению опасных состояний через прогнозирование и реконфигурацию системы на этой основе. Однако до настоящей работы отсутствовало системное применение этого подхода к задачам нелинейного управления автономными подвижными объектами с единым математическим аппаратом. Диссертация Кабанова А.А. восполняет этот пробел: автор развивает теоретические основы, методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза систем управления, обеспечивающих функциональную устойчивость. При этом в качестве единого математического аппарата, позволяющего унифицировать синтез регуляторов, наблюдателей и прогнозирующих моделей, выбрано представление нелинейных систем в форме пространства состояния с зависящими от состояния коэффициентами (State-dependent Coefficients, SDC).

В диссертации предложена трехуровневая структура функционально устойчивой системы управления, включающая исполнительный, информационный и стратегический уровни, с формальным описанием информационных потоков и логических условий переключения режимов управления по оценке риска. Разработаны методы канонических преобразований нелинейных систем в SDC-форме, в том числе для сингулярно возмущённых систем и систем с аддитивными возмущениями. Эти методы позволяют приводить системы к блочной канонической форме Фробениуса, обеспечивают явный обратный переход к исходным координатам и дают возможность строить редуцированные модели, инвариантные к одним типам возмущений и чувствительные к другим.

Для нелинейных задач оптимального управления на конечном интервале времени в SDC-представлении автор разработал метод точного терминального управления выходом на основе обратного интегрирования дифференциального уравнения Риккати с терминальным законом регулирования в обратном времени, а также метод оптимального следящего управления с одноэтапной процедурой прямого интегрирования, в котором начальные условия для уравнений регулятора однозначно определяются из начальных условий системы. Эти методы превосходят известные аналоги по точности и вычислительной эффективности. Исследована оптимальная SDC-параметризация матриц по критерию числа обусловленности, улучшающая управляемость и устойчивость численных процедур.

В области оценивания соискателем разработан метод диффузного фильтра Калмана в SDC-представлении, обеспечивающий работоспособность системы при полной неопределённости в начальных условиях. Созданы новые наблюдатели для оценивания неизмеряемых возмущений, базирующиеся на решении вспомогательной задачи оптимального следящего управления с квадратичным функционалом невязки. В отличие от наблюдателей скользящих режимов, они не требуют условий согласования, обеспечивают гладкую оценку и позволяют строить астатические (с нулевой статической ошибкой).

В рамках двухканальной схемы прогнозирующего управления на основе «трубок» для системы уклонений предложен метод выбора горизонта прогнозирования, основанный на оценке времени первого выхода траектории уклонения на границу допустимой области через анализ больших уклонений, где функционал действия Вентцеля-Фрейдлина минимизируется путём сведения к задаче точного терминального управления для системы путей. Это позволяет получить аналитическое выражение для оценки критического времени первого выхода и на ее основе задавать горизонт прогнозирования, обеспечивая адаптацию к текущей уязвимости системы. Вероятностные ограничения при этом преобразуются в детерминированное сужение трубки.

Для стратегического уровня разработан метод ситуационного прогнозирования на основе сценарного подхода. База сценариев формируется комбинированно: типовые сценарии – из статистической обработки данных, критические (А-профили) – путём решения задачи точного терминального управления с минимизацией функционала действия Вентцеля-Фрейдлина. Онлайн-сопоставление текущей траектории с эталонными профилями позволяет вычислять интегральный риск и переключать режимы управления (базовый, осторожный, критический) с механизмом удержания.

Практическая значимость результатов подтверждена внедрением в ряде организаций, в т.ч.: АО «НПП ПТ «Океанос» (при создании системы управления АНПА), ООО «РОБОКОРП» (при построении информационно-управляющей системы АНПА МХ-1), ФГБУН «Институт автоматике и процессов управления ДВО РАН» (при разработке систем управления электроприводами и идентификации дефектов), а также при выполнении более 10 научно-исследовательских проектов, включая проекты в рамках государственного задания, гранты РФ.

Высокая научная квалификация Кабанова А.А. подтверждается большим количеством публикаций: по теме диссертации опубликовано 70 научных работ, из них 1 монография, 29 публикаций в изданиях из перечня ВАК и приравненных к ним (в т.ч. по категориям ВАК 13 – К1, 2 – К2, 1 – К3; по квартилям Scopus 2 – Q1, 8 – Q2, 2 – Q3, 1 – Q4), Получены 1 патент РФ на полезную модель и свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Результаты неоднократно докладывались на конференциях всероссийского и международного уровней, в том числе ICIEAM (2017–2025), RusAutoCon (2018–2025), ISSCAD'2022, «Экстремальная робототехника» (2023, 2024), МКПУ (2017, 2018, 2022).

Личный вклад соискателя является определяющим: все теоретические положения, методы, алгоритмы и их численная реализация выполнены автором самостоятельно. Диссертация соответствует требованиям п.14 Положения о присуждении ученых степеней (Положение правительства РФ №842 от 24.09.2013 в действующей редакции) и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Работа в полной мере соответствует заявленной специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика». Ключевым в обеспечении системного подхода является выбор асимптотических методов в синтезе и, прежде всего, принципа больших уклонений (ПБУ) для онлайн контроля рисков в процессе выполнения задачи АПО или группой АПО. На этой основе Кабановым А.А. разработан математический аппарат и технология проектирования бортовых систем управления транспортными средствами, функционирующими в автономном режиме. Реализация указанного подхода совершенно не сводится к формальному применению стандартных методик, так как решение задачи Лагранжа, лежащей в основе квазипотенциальной теории оценки рисков (реализующей ПБУ), является нетривиальной проблемой даже в линейном случае и вне рамок бортовых вычислений в реальном времени. Привлекая представление SDC, специальную (трехматричную) форму решения матричного уравнения Риккати и экстремальные свойства собственных значений, диссертанту удалось разработать алгоритм глобального мониторинга процесса управления. При этом, планомерное применение асимптотических методов, и прежде всего методов анализа сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений, позволило получить итоговые алгоритмические решения во вполне реализуемой форме, что и продемонстрировано в заключительной главе диссертации.

Все указанные результаты получены Кабановым А.А. лично в процессе работы над диссертацией, которую он успешно сочетал с выполнением своих служебных и административных обязанностей.

Диссертационная работа Кабанова Алексея Александровича по теме «Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза систем управления автономными подвижными объектами» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны научно обоснованные теоретические положения, методы и алгоритмы, в совокупности решающие крупную научно-техническую

проблему создания систем управления автономными подвижными объектами, гарантирующих выполнение миссий в условиях неопределённости и риска редких критических событий. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук. Кабанов Алексей Александрович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Научный консультант

С.А. Дубовик

Дата

Сведения о научном консультанте:

д-р. техн. наук, профессор кафедры «Искусственный интеллект и автономные системы управления», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет»; специальность, по которой защищена диссертация: 05.13.03 «Системы и процессы управления».

ФИО научного консультанта: Дубовик Сергей Андреевич.

