

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМаш РАН)**



В.О., Большой пр-т, д. 61, Санкт-Петербург, 199178
Тел.: +7 (812) 321-47-78, факс: +7 (812) 321-47-71;

<https://ipme.ru>, e-mail: ipmash@ipme.ru

ОКПО 04850273 ОГРН 1037800003560 ИНН 7801037069 КПП 780101001

Исх.№ 125.10/89 от 11.04 2025 г.

Утверждаю
Директор,
доктор технических наук



В.А. Полянский

11 апреля 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

**федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт проблем машиноведения Российской академии наук»
на диссертационную работу Ласточкина Константина Андреевича**

**«Адаптивные наблюдатели физических состояний линейных динамических систем»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»**

Актуальность темы диссертационной работы

Асимптотическое оценивание неизмеряемых состояний линейных динамических систем с неизвестными параметрами является одной из классических задач, рассматриваемых в теории адаптивного управления. Однако существующие адаптивные наблюдатели, разрабатываемые в соответствии с методами данной теории, позволяют асимптотически восстанавливать не физические, а виртуальные состояния системы, то есть линейные комбинации физических состояний. С практической точки зрения для решения задач автоматизации, управления и диагностики необходимо асимптотическое восстановление не виртуальных, а физических состояний системы. Поэтому тема диссертационной работы является актуальной и важной для развития как теории, так и практики адаптивного управления.

Краткий анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 79 наименований. Диссертация изложена на 174 страницах основного текста, содержит 12 рисунков, 3 таблицы и 2 приложения.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены основные результаты работы, определены их научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе проведен сравнительный анализ существующих методов оценивания состояний линейных стационарных динамических систем с одним входом и одним выходом с параметрической неопределенностью. Выявлены и обозначены достоинства и недостатки существующих решений. Сформулирована обобщенная постановка задачи на диссертационную работу, которая декомпозирована на три подзадачи. Последующие главы посвящены последовательному решению данных подзадач.

Во второй главе получено решение подзадачи 1. Разработан новый алгоритм идентификации значений функций от параметров нелинейных по параметрам регрессионных уравнений. При его применении обеспечивается монотонная поэлементная экспоненциальная сходимость оценок к истинным значениям, а условием реализуемости выступает требование конечного возбуждения регрессора. В отличие от существующих решений, подобный алгоритм свободен от разрывов в формируемых оценках и не требует априорной информации о неизвестных параметрах и функций от них. Результат этой главы является вспомогательным и в последующих главах используется для решения задачи восстановления физических состояний линейных динамических систем.

В третьей главе получено решение 2-й задачи. Для восстановления физических состояний линейных систем с перепараметризацией на основе алгоритма идентификации из второй главы предложены методы построения адаптивного наблюдателя Люенбергера и алгебраического адаптивного наблюдателя. Проведено сравнительное моделирование этих решений, обозначены их преимущества и недостатки. В отличие от существующих адаптивных наблюдателей состояний, соискателю удалось обеспечить асимптотическое восстановление неизмеряемых физических состояний линейных систем с неизвестными параметрами, представленных в произвольной форме пространства состояний. С помощью математического моделирования выполнено сравнение свойств наблюдателей, построенных в соответствии с разработанными методами, продемонстрированы их преимущества и недостатки.

В четвертой главе результаты глав 2 и 3 обобщаются на класс линейных систем с перепараметризацией при действии на систему внешнего возмущения с неизвестной динамической моделью. В результате получен метод построения адаптивного наблюдателя, обеспечивающий асимптотическое восстановление состояний линейных динамических систем с неизвестными параметрами при действии неконтролируемых внешних возмущений.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, а также обозначены перспективные направления дальнейших теоретических исследований.

В приложении приведены вспомогательные сведения, полезные для восприятия результатов диссертации, а также доказательства всех теорем, лемм и утверждений, сформулированных в основном тексте работы.

Следует заметить, что предложенные автором адаптивные наблюдатели физических состояний линейных динамических систем строго обоснованы и критически оценены по сравнению с известными аналогами, а все сделанные выводы и полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью.

Диссертация написана грамотным языком, аккуратно оформлена и иллюстрирована. Результаты исследований по всем разделам диссертации достаточно полно отражены в публикациях в рецензируемых научных изданиях. Следует отметить наличие у соискателя публикаций в журналах из первого квартиля по базе цитирования Web of Science, а также наличие докладов на международных конференциях, в том числе за рубежом. В частности, 4 публикации – в изданиях, индексируемых в международных базах данных, приравненных к журналам категории K1 Перечня ВАК, и 5 публикаций – в сборниках трудов международных и всероссийских конференций.

Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации.

Научные результаты диссертационного исследования

В диссертационной работе получены следующие основные результаты, обладающие научной новизной:

1) в первую очередь необходимо отметить алгоритм идентификации, позволяющий идентифицировать значения функций от параметров нелинейных по параметрам регрессионных уравнений. При выполнении принятых в работе допущений он обеспечивает формирование оценок без разрывов, не требуя при этом наличия априорной информации о неизвестных параметрах. Кроме того, алгоритм гарантирует монотонную поэлементно экспоненциальную сходимость оценок к истинным значениям при выполнении неограничительного требования конечного возбуждения регрессора.

2) для систем, представленных не только в канонической наблюдаемой форме, но и в произвольной форме пространства координат состояний (то есть и в ситуации, когда неизвестные параметры в математической модели системы умножены на неизмеряемые сигналы), предложен метод построения адаптивных дифференциальных и алгебраических наблюдателей физических состояний линейных систем, в отличие от аналогов, позволяющий восстанавливать истинные координаты состояния системы, а не их комбинации.

3) метод построения адаптивных наблюдателей физических состояний линейных систем, в отличие от существующих решений обеспечивающий восстановление координат состояний системы в ситуации, когда неизвестные параметры в математической модели системы умножены на неизмеряемые сигналы, а на систему действует ограниченное возмущение с неизвестной динамической моделью. При этом предложенные методы оценки возмущения и параметров системы гарантируют асимптотическую сходимость ошибок оценивания к нулю.

Соответствие паспорту специальности

Научные результаты диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» по следующим пунктам:

4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта;

6. Методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации;

7. Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем.

Теоретическая и практическая значимость

Результаты диссертационной работы, в основном, имеют теоретическую значимость и развивают методы построения адаптивных наблюдателей физических состояний линейных динамических систем с неизвестными параметрами. Однако результаты диссертационной работы также могут быть использованы для синтеза наблюдателей для систем диагностики и управления техническими системами в случаях, когда прямое измерение полного вектора состояния системы невозможно в силу различных причин.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационного исследования можно рекомендовать к использованию при проектировании систем диагностики и управления различными техническими системами в ситуации, когда измерения физических состояний различных систем технически невозможно или экономически нецелесообразно, а также в образовательном процессе по направлениям подготовки «Прикладная математика», «Управление в технических системах», «Автоматизация технологических процессов и производств».

Замечания по диссертационной работе

1) В главе 4 в теореме 4.2 сделано предположение о том, что некоторый скалярный регрессор является неинтегрируемым с квадратом. Что можно сказать о свойствах замкнутой системы оценивания в случае, если такое требование не выполняется?

2) Требование допущения 1.7 о том, что возмущение может быть продифференцировано n раз выглядит ограничительным.

Сделанные замечания не имеют принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Рассматриваемая диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена научная проблема оценивания физических, а не виртуальных состояний линейных динамических систем с неизвестными параметрами, представленных в произвольной форме пространства координат состояния. Поставленная цель диссертационного исследования достигнута, соответствующие задачи решены на достаточно высоком научном уровне.

На основании вышеизложенного следует, что диссертационная работа «Адаптивные наблюдатели физических состояний линейных динамических систем» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Ласточкин Константин Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на научном семинаре лаборатории «Адаптивное и интеллектуальное управление сетевыми и распределенными системами», протокол № 4/25 от «09» апреля 2025 г.

Ведущий научный сотрудник
лаборатории «Адаптивное и интеллектуальное
управление сетевыми и распределенными системами»
ИПМаш РАН,
доктор технических наук



Гущин Павел Александрович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем машиноведения Российской академии наук»

Лаборатория «Адаптивное и интеллектуальное управление сетевыми и распределенными системами»

Адрес: Россия, 199178, Санкт-Петербург, Большой пр. ВО, дом 61

Официальный сайт: <https://ipme.ru/>

Телефон: +7 812 321-47-78

E-mail: ipmash@ipme.ru



Мощник Директора

2025 г.