

Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу
«Методы и алгоритмы анизотропийного управления линейными
дескрипторными и параметрически неопределенными системами»,
представленную Беловым Алексеем Анатольевичем
на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 —
«Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях
информатики, вычислительной техники и автоматизации)»

Актуальность темы

Стохастические системы управления представляют особый интерес для исследователей в области теории автоматического управления, так как большинство реальных физических процессов, как действующих на объект управления извне, так и протекающих в самом объекте управления, являются случайными. Задачи обеспечения устойчивости замкнутой системы управления с одновременным подавлением случайных внешних возмущений нашли свои приложения во многих практических задачах.

Среди методов и подходов к подавлению случайных внешних возмущений можно выделить анизотропийный подход к управлению линейными дискретными системами. Этот подход объединяет методы H_2 - и H_∞ -управления на единой методологической основе: внешние возмущения предполагаются коррелированными случайными последовательностями с заранее неизвестными статистическими характеристиками, но ограниченной средней анизотропией. Регуляторы, построенные на основе данного подхода, обладают меньшим консерватизмом в сравнении с H_∞ -регуляторами и большим запасом устойчивости в сравнении с H_2 -регуляторами. В ранее известных исследованиях было показано, что практическое применение регуляторов, спроектированных с помощью анизотропийного подхода, позволяет снизить энергозатраты на управление, повысить помехозащищенность замкнутой системы и улучшить качество переходных процессов. Однако существующие методы управления системами, находящимися под воздействием случайных внешних возмущений, охватывают далеко не все классы систем. Поэтому расширение области применения таких методов является весьма актуальной задачей.

Данная диссертационная работа посвящена распространению анизотропийного подхода на новые классы систем. Во-первых, это так называемые дескрипторные системы; во-вторых, это новые классы объектов с параметрической неопределенностью.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

Дескрипторные системы нашли свое применение при моделировании различных типов реальных объектов. Особенностью таких систем является невозможность разрешить их относительно первой производной. Это приводит к существенным трудностям при решении задач анализа и синтеза. В настоящее время известны методы решения задач управления для дискретных дескрипторных систем на основе H_2 - и H_∞ -подходов. Анизотропийный подход в данном случае является новым и не рассматривался другими авторами ранее. Поэтому разработка аналитических методов анализа и синтеза, а также алгоритмического обеспечения для них можно рассматривать как значимый научный результат, не только объединяющий внутри одной концепции различные существующие методики, но и предлагающий новые способы синтеза регуляторов с учетом стохастической природы внешних возмущений.

Помимо этого, учет различных типов параметрических неопределенностей позволяет решать задачи робастного управления и гарантировать робастное качество регулирования для семейств объектов, чьи параметры известны неточно. Такие задачи

являются востребованными на практике, так как математические модели объектов могут различаться из-за наличия неучтенной динамики, технологических допусков на параметры компонент объекта, а также в зависимости от условий функционирования системы.

Таким образом, научная значимость диссертации состоит в возможности практического применения разработанных методов для новых классов систем и улучшении характеристик замкнутых систем после учета дополнительных неопределенностей объектов.

Достоверность научных результатов.

Постановки задач являются четко формализованными. Доказательства лемм и теорем опираются на строгий математический аппарат. Также достоверность полученных результатов подтверждают многочисленные вычислительные примеры с рассмотрением частных случаев, которые согласуются с существующими исследованиями.

Апробация результатов диссертации и личный вклад автора.

По теме диссертации опубликовано 39 работ. В том числе две монографии, одна из которых индексируется в WoS и Scopus, 16 журнальных статей в рецензируемых изданиях (15 индексируются в WoS и Scopus, а 1 индексируется в Scopus), 20 статей в сборниках конференций (11 индексируются в WoS и Scopus, 5 индексируются в Scopus, 4 конференции индексируются в РИНЦ), 1 брошюра.

Результаты диссертации были использованы в нескольких научных проектах РФФИ и РФН.

Личный вклад соискателя подробно описывается в автореферате.

Структура и содержание работы.

Объем диссертации равен 277 страниц, работа содержит 35 иллюстраций и 10 таблиц. Работа разбита на 5 глав, имеет введение, заключение и список литературы, включающий 282 источника.

Введение описывает актуальность, новизну и значимость исследования. Также во введении рассматриваются общие сведения о состоянии науки в области знаний, близкой к диссертационному исследованию.

В первой главе приводятся основные понятия и определения теории дескрипторных систем, анизотропийной теории управления, а также некоторые матричные преобразования.

Вторая глава посвящена решению задачи анизотропийного анализа дескрипторных систем с точно известными параметрами. В начале главы приводятся формальные определения для H_2 -, H_∞ - и анизотропийной норм дескрипторных систем. Показано, что как и в случае обыкновенных систем, H_2 - и H_∞ -нормы дескрипторной системы могут рассматриваться как частные случаи анизотропийной нормы. Далее в главе приводится несколько вариантов анизотропийной частотной теоремы для дескрипторной системы на основе различных методик.

Третья глава посвящена задачам синтеза анизотропийного управления для дескрипторных систем. В первой части главы рассматриваются и решаются задачи оптимального управления по состоянию и выходу. Вторая часть главы посвящена решению задач субоптимального анизотропийного управления при полном измерении вектора состояния.

В четвертой главе решаются задачи анизотропийного анализа и синтеза для дескрипторных систем с ограниченными по норме параметрическими неопределенностями.

Пятая глава посвящена решению робастных анизотропийных задач для обыкновенных систем с параметрическими неопределенностями. Рассмотрены политопические и ограниченные по норме параметрические неопределенности. На основе

методов выпуклой оптимизации были получены достаточные условия для оценки сверху анизотропийной нормы системы с неопределенностью и синтеза статических и динамических робастных регуляторов по состоянию и выходу.

Заключение содержит выводы о полученных результатах.

Достоинства диссертационной работы.

1. Работа посвящена исследованию нового класса объектов — дескрипторных систем управления. Развитие теории таких систем находится сейчас на переднем крае науки.
2. В работе решены сложные задачи построения оптимальных в минимаксном смысле регуляторов с неопределенностью, описываемых в терминах средней анизотропии стационарных случайных возмущений. Особенно стоит отметить результаты об оптимизации систем, управляемых по выходу, и с заданной областью полюсов передаточной функции.
3. Разработанный подход позволил с единых позиций исследовать системы с параметрической неопределенностью, как для случая дескрипторных объектов, так и для обычных систем.
4. Диссертация демонстрирует виртуозное владение теорией дескрипторных систем, техникой линейных матричных неравенств, частотной теорией систем управления.

Замечания по работе.

1. Текст диссертации написан в излишне сухом стиле. Во многих местах не хватает простых пояснений, как к исследуемым объектам, так и к применяемым методам. В частности, это замечание касается описания дискретных дескрипторных систем. Каково происхождение проблемы причинности таких систем: недостаток математических моделей в описании сложных систем, насущная потребность рассмотрения упреждающих преобразований или что-то еще? То же относится к используемым свойствам дескрипторных систем: причинная управляемость, причинная наблюдаемость и т.д. Чем вызвана необходимость сужать круг исследуемых моделей, налагая подобные условия? Для чего необходимо рассматривать управления, которые превращают исходную дескрипторную систему в причинную?
2. В работе только в одном месте упоминается *минимаксный подход*, который составляет основу понятия робастности, используемого в анизотропийной теории. Все управления, называемые в работе «оптимальными», следует именовать *минимаксными* относительно класса неопределенности, задаваемого случайными возмущениями со средней анизотропией, не превосходящей заданного уровня.
3. Следовало более подробно изложить этапы построения «оптимального» управления методом неподвижной точки (см. теоремы 3.1 и 3.2). В частности, здесь осталась без упоминания проблема существования искомого решения. То же замечание относится к субоптимальным методам (см. теорему 3.3): способ построения субоптимального регулятора представлен в виде окончательных соотношений (уравнений и неравенств) без предпосылок.
4. В теореме 4.8 требуется существование достаточно большого числа «альфа», а дальше в примере 4.4 исследуется зависимость от него нормы системы. Однако каких-либо пояснений, касающихся смысла использования этого параметра, нет.
5. В примере 5.3 преимущества анизотропийного регулятора по сравнению с H_∞ -регулятором не вполне очевидны.

Заключение.

Диссертация Белова Алексея Анатольевича является научно-квалификационной работой, результаты которой можно квалифицировать как важное научное достижение, имеющее теоретическое и практическое значения. В автореферате отражены наиболее важные результаты диссертационной работы. Указанные выше замечания не являются существенными и не снижают общей положительной оценки работы. Диссертационная работа Белова А.А. «Методы и алгоритмы анизотропного управления линейными дескрипторными и параметрически неопределенными системами» удовлетворяет Положению о присуждении ученых степеней и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям. Полагаю, что Белов Алексей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности: 05.13.01 — «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)».

Профессор кафедры
«Теория вероятностей и компьютерное моделирование»,
доктор физико-математических наук

К.В. Семенихин

Подпись заверил:
Директор дирекции института №8
«Компьютерные науки и прикладная математика»



С.С. Крылов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Адрес: Москва, 125993, Волоколамское шоссе, 4

Телефон: +7 499 158-09-06 (дирекция института №8)

E-mail: mai@mai.ru

Факс: +7 499 158-29-77

Дата: 31 августа 2022 г.