

Отзыв официального оппонента  
на диссертационную работу **Белова Алексея Анатольевича**  
на тему «**Методы и алгоритмы анизотропного управления линейными  
дескрипторными и параметрически неопределенными системами**»,  
представленной 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.**

При решении задачи управления техническим объектом разработчик сталкивается с несколькими проблемами. Одна из них – обеспечение устойчивости замкнутой системы, а другая – выполнение определенного качества функционирования. Поскольку большинство систем управления подвергается влиянию случайных внешних возмущений, статистические характеристики которых или невозможно, или сложно оценить, то использование некоторого обобщенного показателя качества, закладывающего возможную неопределенность, является весьма привлекательным.

Рассматриваемый в данной работе анизотропный показатель качества позволяет с помощью скалярного параметра задавать меру коррелированности случайных внешних возмущений без точного знания ковариационной матрицы. Это может с одной стороны повысить помехоустойчивость замкнутой системы, а с другой стороны – улучшить качество переходных процессов за счет более тонкой настройки регуляторов. Таким образом, актуальность, решаемой в диссертационном исследовании проблемы, обусловлена повышением требований к надежности и точности работы систем автоматического управления, использующих цифровые технологии обработки сигналов.

**Структура и содержание работы.**

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

Введение описывает краткое содержание диссертационной работы, обзор существующих методов, близких к теме диссертации, и обосновывает актуальность исследования.

Первая глава содержит краткие теоретические сведения, которые используются автором в дальнейшем при постановке и решении задач анализа и управления. Особое внимание уделяется основам теории дискретных дескрипторных систем. Кратко объясняется нетривиальность обобщения существующих решений задач управления на дескрипторные системы.

Главы 2-4 являются основными в диссертационной работе. Они посвящены построению теории анизотропного управления для класса

дискретных дескрипторных систем. Во второй главе автор ставит и решает задачи анизотропийного анализа дескрипторных систем, исходя из предположения о том, что система является допустимой. Получены методики и алгоритмы вычисления анизотропийной нормы дескрипторной системы как с помощью решения обобщенных алгебраических уравнений Риккати, так и с применением техники линейных матричных неравенств. Глава 3 посвящена решению оптимальных и субоптимальных задач анизотропийного управления для дескрипторных систем с точно известными параметрами. Аналогично второй главе, задачи решены с помощью двух техник. При решении субоптимальных задач с использованием линейных матричных неравенств рассмотрены дополнительные ограничения на качество переходных процессов в замкнутой системе.

Четвертая глава посвящена разработке аппарата анализа и синтеза анизотропийного управления для дескрипторных систем с неточно заданными параметрами. Получены аналитические выражения, позволяющие проверить допустимость семейства объектов, параметры которых находятся в эллиптической односвязной области, а также оценить верхнее значение анизотропийной нормы для наихудшего случая из данной области. На основе разработанной методики анализа получены условия для синтеза субоптимального робастного анизотропийного управления по состоянию с дополнительными ограничениями на качество переходных процессов замкнутой системы.

Пятая глава рассматривает обыкновенные системы, чьи параметры заданы неточно и находятся внутри наперед известных областей. Автором выделены для варианта таких неопределенностей: политопические и ограниченные по норме. Получены аналитические выражения, позволяющие решать задачи анизотропийного анализа и управления для объектов с указанными неопределенностями.

В заключении кратко перечисляются основные результаты работы.

### **Научная новизна и значимость полученных результатов.**

Системы управления описываются математическими моделями, которые проще построить с использованием переменных состояния, имеющих физический смысл. Такие модели могут содержать как динамические переменные, так и алгебраические. Это приводит к появлению нового класса систем, называемых дескрипторными. Данный класс систем с физической точки зрения позволяет моделировать больше реальных объектов, а также упростить построение их математических моделей, а с математической точки зрения приводит к более широкому описанию динамики объектов. Несмотря на выгоды преимущества, тривиальное обобщение существующих методов анализа и синтеза систем управления для них невозможно. Это связано с трудностями, которые возникают из-за наличия алгебраических связей между переменными состояниями.

Кроме того, реальные объекты управления имеют технологические допуски, что приводит к наличию неопределенных параметров в модели

объекта управления. В данном случае регулятор, синтезированный для некоторого номинального объекта, может не удовлетворять заданным характеристикам и даже не обеспечивать устойчивость замкнутой системе. Тогда цель управления состоит в гарантировании устойчивости и заданного качества регулирования для целого семейства объектов, параметры которых могут находиться в некоторой связной области.

Новизна диссертационного исследования состоит в рассмотрении этих типов объектов управления и разработке для них регулярных методов анализа и синтеза робастного управления с анизотропийным критерием качества.

Новые результаты позволяют существенно расширить классы реальных объектов управления, для которых возможно синтезировать анизотропийные регуляторы, что говорит о значимости полученных результатов.

### **Достоверность научных результатов.**

Все решенные в диссертационной работе задачи имеют четкую формальную постановку. Доказательства условий лемм и теорем опираются на строгий математический аппарат, а полученные условия согласуются с уже существующими результатами из близких областей, обобщая их на рассматриваемый класс систем. Достоверность также подтверждается соответствующими численными процедурами.

### **Публикации и личное участие автора в получении результатов диссертации.**

По теме диссертации опубликовано 39 работ. В том числе 2 монографии (1 индексируется в Web of Science и Scopus), 16 журнальных статей в рецензируемых изданиях (15 индексируются в Web of Science и Scopus, а 1 индексируется в Scopus), 20 статей в сборниках конференций (11 индексируются в Web of Science и Scopus, 5 индексируются в Scopus, 4 конференции индексируются в РИНЦ), 1 брошюра.

Личный вклад соискателя достаточно полно отражен в автореферате. В диссертационную работу были включены только те результаты, которые были получены лично соискателем.

### **Недостатки и замечания по работе.**

1. На стр. 103 предлагается выбирать матрицу обратной связи, обеспечивающую свойство каузальности как псевдообратную матрицу. Вообще говоря, выбор такой обратной связи не является единственным, а при реализации предложенного управления в числовой форме поиск псевдообратной матрицы может приводить к плохой обусловленности.
2. При доказательстве леммы 2.1 предполагается довольно строгое ранговое ограничение (2.28). На стр. 58 ранговое ограничение является более слабым. Автору следовало бы прокомментировать, почему при

решении задачи анизотропийного анализа и синтеза это ограничение можно ослабить.

3. Алгоритм вычисления анизотропийной нормы, предложенный на рис. 2.2., кажется слишком трудоемким по сравнению с алгоритмом, рассмотренным в т. 2.1.

Указанные недостатки не являются критическими и не снижают общей положительной оценки работы

### **Заключение.**

Диссертационная работа «Методы и алгоритмы анизотропийного управления линейными дескрипторными и параметрически неопределенными системами» является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой можно характеризовать как существенное научное достижение, имеющее теоретическое и практическое значение. Автореферат адекватно отражает основные результаты работы. На основании проведенного анализа можно заключить, что работа соответствует Положению о порядке присуждения ученых степеней и отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Автор работы, 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).

### **Официальный оппонент:**

Заведующий кафедрой прикладной математики Арзамасского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» : 607227, г. Арзамас, ул. Калинина, д. 19; +7 (83147) 2-90-53, [apingtu@apingtu.edu.ru](mailto:apingtu@apingtu.edu.ru), <https://api.nntu.ru/>, доктор физико-математических наук (05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации),

профессор

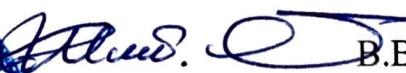


Пакшин Павел Владимирович

25 августа 2022 г.

Подпись П.В. Пакшина удостоверяю

Директор Арзамасского политехнического института (филиала) НГТУ



В.В. Глебов