

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу

**Белова Ивана Романовича**

на тему: «Анизотропийная фильтрация для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)

### **Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа Белова И.Р. посвящена решению задач анизотропийного анализа и синтеза анизотропийного фильтра для стохастических систем с мультипликативными шумами. Подобные системы являются хорошей аппроксимацией динамики многих реальных объектов и процессов и потому часто рассматриваются в современных научных публикациях по тематике теории управления и фильтрации.

За последние тридцать лет задачам анизотропийной теории управления и фильтрации было посвящено достаточно большое количество работ в научных изданиях с высоким рейтингом. Эта теория представляет возможность описания случайных внешних возмущений, действующих на систему, с помощью такого показателя, как анизотропия случайного вектора или последовательности векторов. Регуляторы и фильтры, синтезируемые в рамках этой теории, показывают свою эффективность при решении соответствующих задач, в которых свойства внешних возмущений не известны полностью и могут меняться со временем.

Поскольку решение задач управления и фильтрации для стохастических систем со случайными внешними возмущениями имеет большое теоретическое и практическое значение, выбранная соискателем тема диссертационной работы является актуальной.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Введение содержит в себе обзор опубликованных ранее результатов по темам задач фильтрации в целом,

анизотропией теории управления и фильтрации, систем с мультипликативными шумами и их частных случаев. Во введении сформулированы цели исследования, постановки задач, основные результаты данной работы, выносимые на защиту, и их научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе изложены теоретические основы полученных в процессе работы над диссертационной работой результатов. Приведены базовые определения линейной дискретной нестационарной системы с реализацией в пространстве состояний и ее норм, а также основные понятия анизотропией теории управления, такие как анизотропия случайного вектора и анизотропийная норма системы. В последнем подразделе первой главы представлено описание объекта исследования данной диссертации – систем с мультипликативными шумами.

Во второй главе диссертационной работы представлены постановки задач анизотропийного анализа для систем с мультипликативными шумами и результаты их решения в виде теорем о вычислении анизотропийной нормы и об условиях ограниченности сверху анизотропийной нормы в терминах разностных уравнений и неравенств Риккати. В тексте главы также сформулированы основные предположения и представлены выводы указанных теорем. В конце главы приведен важный для дальнейших рассуждений алгоритм сведения неравенств Риккати к форме линейных матричных неравенств.

В третьей главе диссертации изложены результаты решения задачи субоптимальной анизотропийной фильтрации для систем с мультипликативными шумами в общей постановке, а также рассмотрены частные случаи задач в зависимости от свойств исходной системы и выбранного фильтра. Искомый фильтр представляет собой линейную дискретную нестационарную систему с четырьмя неизвестными матрицами, которые подлежат определению. Следует отметить, что выбранный вид фильтра имеет сходство с фильтром Калмана, в уравнениях динамики фильтра можно выделить прогнозную и коррекционную части. Результатом решения задачи фильтрации в каждом случае являются линейные матричные неравенства и неравенство специального вида в терминах матриц системы и искомого фильтра.

В четвертой главе рассматривается задача субоптимальной анизотропийной фильтрации для систем со случайными сбоями в датчиках, которые являются одним из наиболее известных частных случаев систем с

мультипликативными шумами. Помимо теоретических результатов решения поставленной задачи фильтрации, также представлен практический пример применения предложенного автором метода синтеза фильтра. В качестве примера используется модель продольного движения самолета по глиссаде, которая рассматривается в качестве системы со случайными сбоями в датчиках. В тексте главы продемонстрированы численные результаты моделирования рассматриваемой системы при различных значениях вероятности сбоя датчика и приведен анализ влияния вероятности сбоя на свойства анизотропийного фильтра. Отмечены также и недостатки данного метода в виде значительного увеличения затрат времени и ресурсов по мере роста размерности системы и увеличения длины рассматриваемого интервала.

Автореферат адекватно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

### **Научная новизна**

В диссертации впервые рассмотрены задачи анизотропийного анализа и синтеза анизотропийного фильтра для систем с мультипликативными шумами. Были получены следующие результаты:

- 1) Метод вычисления в пространстве состояний анизотропийной нормы линейной дискретной нестационарной системы с мультипликативными шумами на конечном интервале времени.
- 2) Условия ограниченности сверху анизотропийной нормы системы с мультипликативными шумами.
- 3) Метод синтеза субоптимального анизотропийного фильтра для систем с мультипликативными шумами в общей и частных постановках.
- 4) Метод синтеза субоптимального анизотропийного фильтра для систем со случайными сбоями в датчиках.

### **Обоснованность и достоверность результатов**

Полученные в процессе работы над диссертационной работой результаты являются обоснованными вследствие использования строгого математического аппарата. Достоверность результатов подтверждается результатами компьютерного моделирования предложенных автором методов решения задач фильтрации.

## **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в двух статьях в рецензируемых научных изданиях из списка RSCI (журнал «Автоматика и телемеханика» и сборник «Управление большими системами») По теме диссертации также опубликованы 3 статьи в рецензируемых трудах конференций, реферируемых в Web of Science / Scopus и 3 работы в сборниках трудов и тезисов конференций.

## **Теоретическая и практическая значимость**

Представленные в диссертационной работе методы решения задач анизотропного анализа и фильтрации имеют большое теоретическое значение, поскольку системы с мультипликативными шумами являются хорошей аппроксимацией многих технических объектов со случайно изменяющимися параметрами, а методы анизотропной теории позволяют решать задачи фильтрации для систем, на которые действуют внешние возмущения с неизвестными точно статистическими свойствами. Автором представлены результаты численного моделирования результатов решения задач фильтрации для реальной модели технической системы на основе предложенных методов, что подтверждает практическую значимость результатов диссертации.

## **Замечания по диссертационной работе**

По данной диссертационной работе имеются следующие замечания:

- 1) Недостаточно полный и несколько однобокий обзор литературы по тематике методов решения задач фильтрации.
- 2) Отсутствует обоснование выбора закона Бернулли для сбоев в датчиках. Автор мог бы представить краткое объяснение подобного выбора.
- 3) В некоторых местах математические обоснования написаны небрежно.

Указанные замечания не являются критически важными и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

## **Заключение**

В диссертационной работе Белова И.Р. представлены новые результаты в области методов решения задач фильтрации для стохастических систем. Автором продемонстрирован высокий уровень компетентности в предмете исследования. Считаю, что диссертационная работа «Анизотропная

фильтрация для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами» полностью соответствует паспорту специальности 05.13.01. – «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)» и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автор диссертации, Белов Иван Романович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата 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, [apingt@apingt.edu.ru](mailto:apingt@apingt.edu.ru), <https://api.ntu.ru/>, доктор физико-математических наук (05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации), профессор



Пакшин Павел Владимирович

27 сентября 2021г.

Подпись П.В. Пакшина удостоверяю  
Директор Арзамасского политехнического  
института (филиала) НГТУ



В.В. Глебов