

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Белова Ивана Романовича

на тему: «Анизотропная 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

Диссертация И. Р. Белова посвящена исследованию линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами методами анизотропной теории. Задачи оценивания и управления являются одним из важных разделов прикладной математики. Начиная с середины XX века в этой области выполнено значительное количество исследований, получены важные фундаментальные результаты, имеющие несомненное теоретическое и практическое значение. Несмотря на это, до настоящего времени многие вопросы оценивания и управления остаются открытыми. Поэтому проведение дальнейших исследований в этой области, безусловно, представляется актуальным.

Автор концентрируется на анализе стохастических систем с мультипликативными шумами. Подобными системами моделируются процессы не только в различных технических системах, но и, например, в биологии, финансовой и прочих сферах. В своей работе И. Р. Белов проводит исследование, опираясь на аппарат анизотропной теории управления и фильтрации. Это сравнительно новый раздел теории управления, развивающийся с 90-х годов XX века и представляющий собой обобщение теорий H_2 и H_∞ -оценивания и управления: в соответствии с положениями анизотропной теории, свойства случайных внешних возмущений, действующих на систему, описываются с помощью такого показателя, как анизотропия случайного вектора или последовательности векторов. Анизотропные методы во многих случаях позволяют получить удовлетворительные результаты для систем со случайными внешними возмущениями с нестандартными статистическими характеристиками, когда H_2 и H_∞ -фильтры оказываются недостаточно эффективны. С учётом всего

сказанного можно сделать вывод, что выбранная диссертантом тема исследования, несомненно, является актуальной.

Оценка содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Введение содержит обзор литературы по теории фильтрации, анизотропной теории управления и фильтрации, системам с мультипликативными шумами. Также во введении описана структура работы, обоснована актуальность темы исследования, изложены цели и методы исследования, представлены постановки задач, описаны основные результаты работы, выносимые на защиту, и их научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость работы.

Первая глава содержит необходимый вводный материал, служащий теоретической основой результатов диссертации. Даются определения линейной дискретной нестационарной системы с реализацией в пространстве состояний, H_2 и H_∞ -норм, анизотропии случайного вектора и анизотропной нормы системы, систем с мультипликативными шумами.

Основные теоретические результаты работы содержатся во второй и третьей главах. Вторая глава рассматривает задачи анизотропного анализа, а именно, задачи вычисления анизотропной нормы и выяснения условий её ограниченности заданным числом в терминах разностных уравнений и неравенств Риккати для систем с мультипликативными шумами.

На её результатах основывается материал третьей главы, посвящённой исследованию задачи субоптимальной анизотропной фильтрации для систем с мультипликативными шумами. Дается постановка задачи, решение которой ищется в виде фильтра, представляющего собой линейную дискретную нестационарную систему с четырьмя неизвестными матрицами, подлежащими определению. Окончательное решение представлено теоремой об ограниченности анизотропной нормы системы в ошибках фильтрации. Помимо этого, рассматриваются некоторые частные случаи: случай постоянного значения переменной состояния фильтра и случай, когда оцениваемый выход системы не возмущается шумами, а зависит только от значения вектора состояния. Для этих частных случаев получены решения, аналогичные общему решению, но имеющие более простой вид.

Четвёртая глава диссертации посвящена рассмотрению интересной практической модификации рассмотренной выше задачи – а именно, случаю возникновения в измерительных датчиках случайных сбоев. Основываясь на материале третьей главы, автор получает решение этой задачи, после чего

применяет найденное решение к практической задаче – оценке вектора состояния в задаче продольного движения самолёта по глассаде. Для этой задачи проведено сравнение результатов работы построенного анизотропийного фильтра с результатами, доставляемыми H_2 и H_∞ -фильтрами. Приведены результаты численного моделирования, обсуждается зависимость свойств найденного субоптимального фильтра от вероятности сбоя.

Научная новизна

В диссертации И. Р. Белова впервые рассмотрены задачи анизотропийного анализа и синтеза анизотропийного фильтра для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами. В качестве основных результатов, выносимых на защиту, им представлены метод вычисления анизотропийной нормы, новые условия ограниченности анизотропийной нормы в нескольких вариациях, а также методы решения задач субоптимальной анизотропийной фильтрации в общей и частных постановках для систем с мультипликативными шумами и частного случая систем со случайными сбоями в датчиках.

Обоснованность и достоверность результатов

Представленные автором научные результаты являются обоснованными вследствие использования при их выводе 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. Также по теме диссертации опубликованы 3 работы в рецензируемых трудах конференций из перечня Web of Science / Scopus и 3 работы в сборниках трудов и тезисов конференций.

Теоретическая и практическая значимость

Предложенные автором в диссертационной работе методы решения задач анизотропийного анализа и фильтрации имеют существенное теоретическое значение, поскольку системы с мультипликативными шумами

подходят для моделирования динамики как многих технических объектов и систем, так и, например, процессов, происходящих в биомеханических и финансовых системах со случайно изменяющимися параметрами, а методы анизотропной теории позволяют решать задачи фильтрации для систем, на которые действуют внешние возмущения с неизвестными точно статистическими характеристиками. Полученные результаты обладают и практической значимостью, что подтверждается результатами численного моделирования предложенных методов решения задач фильтрации для реальной модели технической системы.

Замечания по диссертационной работе

В целом диссертационная работа заслуживает высокой оценки, но по её тексту можно сделать следующие замечания.

- 1) Небольшое количество стилистических, грамматических и пунктуационных ошибок, а также опечаток в формулах. На стр. 21 используется термин «теория вероятности» вместо общепринятого «теория вероятностей».
- 2) Не рассмотрена задача оптимальной фильтрации; отсутствует описание сведения полученных линейных матричных неравенств к задаче выпуклой оптимизации (есть только упоминание об этом в конце третьей главы).
- 3) Следовало бы подробнее пояснить практическое применение предложенного автором метода синтеза анизотропного фильтра: поскольку он строился на достаточно небольшом интервале времени, неясно дальнейшее поведение этого фильтра за пределами этого интервала.
- 4) В некоторых местах при записи теорем с линейными матричными неравенствами пропущены начальные или граничные условия.

Однако перечисленные замечания не являются существенными, могут быть легко устранены и не снижают ценности и значимости результатов работы.

Заключение

В диссертационной работе И. Р. Белова представлены методы решения не рассматривавшихся ранее задач анизотропного анализа и фильтрации для систем с мультипликативными шумами. Эти результаты являются существенным вкладом в развитие теории фильтрации для стохастических

