

Стенограмма
заседания диссертационного совета
Д002.226.02

27 октября 2021 года

Защита диссертации Беловым Иваном Романовичем на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Анизотропийная фильтрация для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами» по специальности: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительная техника и автоматизации)».

Москва 2021

Стенограмма
 заседания диссертационного совета Д 002.226.02 при Федеральном государственном
 бюджетном учреждении науки Институте Проблем Управления им. В.А.
 Трапезникова РАН

Председатель диссертационного совета – д.ф-м.н. Губко М.В.
 Ученый секретарь – к.ф-м.н. Мусатова Е.Г.

Д.ф-м.н. М.В. Губко (Председатель Совета): Уважаемые члены совета! В целях исполнения приказа ИПУ РАН от 22.10.2021 №537 «О мерах по реализации указов Президента Российской Федерации от 20.10.2021 № 595 и Мэра Москвы от 21.10.2021 № 62-УМ» наше заседание перенесено с 28.10.2021 г. на 27.10.2021. Позвольте открыть заседание диссертационного совета. Состав Совета утвержден в количестве 28 человек. На заседании из 28 членов присутствует 19 человек, по профилю рассматриваемой специальности присутствует 6 докторов наук:

- | | | |
|--------------------|-------------------------|----------|
| 1. Губко М.В. | доктор физ.-матем. наук | 05.13.10 |
| 2. Павлов Б.В. | доктор технических наук | 05.13.12 |
| 3. Кульба В.В. | доктор технических наук | 05.13.10 |
| 4. Мусатова Е.Г. | канд. физ.-матем.наук | 05.13.01 |
| 5. Афанасьев А.П. | доктор физ.-матем. наук | 05.13.01 |
| 6. Афанасьев В.Н. | доктор технических наук | 05.13.10 |
| 7. Бахтадзе Н.Н. | доктор технических наук | 05.13.10 |
| 8. Галяев А.А. | член-корр. РАН | 05.13.12 |
| 9. Добровидов А.В. | доктор физ.-матем. наук | 05.13.01 |
| 10.Дорри М.Х. | доктор технических наук | 05.13.12 |
| 11.Лазарев А.А. | доктор физ.-матем. наук | 05.13.01 |
| 12.Лебедев В.Г. | доктор технических наук | 05.13.12 |
| 13.Назин А.В. | доктор физ.-матем. наук | 05.13.01 |
| 14.Толок А.В. | доктор технических наук | 05.13.12 |
| 15.Солнечный Э.М. | доктор физ.-матем. наук | 05.13.01 |
| 16.Уткин В.А. | доктор технических наук | 05.13.12 |
| 17.Хачумов В.М. | доктор технических наук | 05.13.12 |
| 18.Чхартишвили А.Г | доктор физ.-матем. наук | 05.13.01 |
| 19. Щепкин А.В. | доктор технических наук | 05.13.10 |

Так как кворум имеется, разрешите заседание считать правомочным. Возражений нет? Нет. (Предложение принимается единогласно).

На повестке дня защита диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Беловым Иваном Романовичем тему: «Анизотропийная фильтрация для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами» по специальности: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)».

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Кустов Аркадий Юрьевич.

Официальные оппоненты: Пакшин Павел Владимирович доктор физико-математических наук, профессор кафедры общетехнических дисциплин Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, Деревянкин Алексей Викторович, кандидат физико-математических наук, ведущий инженер ООО «КС Кадровый Консалтинг»

Ведущая организация: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

Слово предоставляется учёному секретарю Совета Мусатовой Е.Г. для оглашения материалов личного дела соискателя.

К.ф-м.н. Мусатова Е.Г. (учёный секретарь Совета):

(оглашает документы, имеющиеся в личном деле соискателя. Сообщает о соответствии представленных документов и материалов предварительной экспертизы требованиям «Положения ВАК РФ о порядке присуждения учёных степеней и учёных званий»).

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета): Имеются ли вопросы к учёному секретарю? Вопросов нет. Слово для изложения основных положений предоставляется Белову Ивану Романовичу.

Белов И.Р. (соискатель):

(кратко излагает актуальность темы, основные положения диссертации, содержащие научную новизну, результаты исследований. Автореферат диссертации и раздаточный материал имеется у каждого члена Совета и в личном деле соискателя.)

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Спасибо, Иван Романович. Кто желает задать вопросы?

Д.т.н. Бахтадзе Н.Н. (член Совета):

Скажите, пожалуйста, можно ли четко определить класс задач, в которых стоит использовать анизотропный фильтр, о котором Вы рассказывали? И каким образом можно определить параметр анизотропии для фильтра в конкретной задаче?

Белов И.Р. (соискатель):

Спасибо. Анизотропные фильтры используются в тех задачах, в которых характеристики случайных внешних возмущений, действующих на систему, считаются неизвестными и отличными от гауссовского белого шума, для которого наиболее эффективным является Н2-фильтр. Поскольку гауссовский белый шум является достаточно идеализированной моделью внешних возмущений, в реальных практических задачах он встречается крайне редко, что подтверждает

необходимость использования анизотропных фильтров во многих задачах. Параметр анизотропии определяется эмпирическим путем, на основании имеющихся знаний об условиях функционирования системы. Можно сначала синтезировать H_2 - или H_∞ -фильтр, далее оценить уровень анизотропии, и построить анизотропный фильтр. Однако заранее без какой-либо априорной информации подобрать наиболее подходящее значение параметра анизотропии нельзя, и потому приходится синтезировать либо H_∞ -фильтр, либо анизотропный с высоким значением анизотропии.

Д.т.н. Уткин В.А. (член Совета):

В работе Вы рассматриваете задачу синтеза субоптимального анизотропного фильтра. Можно уточнить, почему Вы не рассматривали задачу оптимальной анизотропной фильтрации и в чем преимущество субоптимального фильтра, раз Вы остановили свой выбор на нем?

Белов И.Р. (соискатель):

Субоптимальный анизотропный фильтр был выбран по причине своей эффективности в случае возможных изменений параметров системы, свойств внешних возмущений, или появлении дополнительных требований к оценке. Оптимальный фильтр синтезируется для конкретной реализации системы и класса внешних возмущений, поступающих на систему. При малейшем изменении оптимальный фильтр уже не дает оптимальной оценки и существенно теряет в показателе эффективности. А субоптимальный фильтр обеспечивает ограниченность анизотропной нормы системы в ошибках фильтрации при возможных изменениях в системе или параметрах входных возмущений.

Д.ф-м.н. Добровидов А.В. (член Совета):

В работе Вы подчеркиваете, что случайные величины в системе с мультипликативными шумами должны быть независимыми в совокупности и независимыми со случайными внешними возмущениями. Однако в большинстве технических систем между мультипликативными шумами может существовать корреляция. Возникают ли какие-либо сложности при наличии зависимости между случайными величинами?

Белов И.Р. (соискатель):

Да, при наличии зависимости между случайными величинами возникают сложности при решении задач анизотропного анализа. Проблемы могут возникнуть при решении разностных уравнений Риккати или даже при их выводе, поскольку при выводе используется математическое ожидание от переходной матрицы, которая характеризует линейную дискретную систему на конечном интервале времени. Можно получить с математической точки зрения верные разностные уравнения Риккати и соответственно условия ограниченности анизотропной нормы в терминах решений этих уравнений. Однако решить сами эти уравнения при наличии корреляции между мультипликативными шумами не представляется возможным. Для этого нужно иметь слишком большой объем

информации о внешнем возмущении, что представляется нереализуемым. Поэтому в постановке задачи используется предположение о независимости в совокупности случайных величин в мультипликативных шумах и их с внешними возмущениями.

Д.ф.-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Вопросы еще есть? Поскольку вопросов к Ивану Романовичу больше нет, переходим к обсуждению диссертационной работы, слово предоставляется научному руководителю Кустову Аркадию Юрьевичу.

К.ф.-м.н. Кустов А.Ю. (научный руководитель):

Добрый день, уважаемые коллеги. Диссертант Белов Иван Романович поступил к нам на работу в лабораторию еще в 2017 году, проходил у нас учебную практику, писал диплом магистра и затем поступил в аспирантуру Института. Первым научным руководителем диссертанта был Курдюков Александр Петрович и в те времена у диссертации была другая тема. Затем его научным руководителем стал я и тема работы стала той, какая есть на данный момент. В итоге получается, что у диссертанта было 2 года на изучение материала и решение поставленных задач. Могу сказать, что диссертант хорошо себя проявил в процессе работы над диссертацией, продемонстрировал свою самостоятельность и целеустремленность. Очевидно, что ему еще многому предстоит учиться, но для двухлетней работы качество представленной соискателем диссертации достаточно хорошее и он заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук. Спасибо.

Д.ф.-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Спасибо большое. Есть вопросы к Аркадию Юрьевичу? Нет. Слово предоставляется ученому секретарю Совета Мусатовой Елене Геннадьевне.

К.ф.-м.н. Мусатова Е.Г. (учёный секретарь Совета):

В личном деле диссертанта имеется заключение объединенного семинара лабораторий №1,6,7,16,37,38 за подписью заместителя директора ИПУ РАН д.ф.-м.н. Губко М.В., в котором говорится, что диссертация «Анизотропийная фильтрация для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами» Белова И.Р. рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет), в своем положительном отзыве, подписанном д.ф.-м.н., доцентом, профессором кафедры «Математическое моделирование» МГТУ им. Н.Э. Баумана Канатниковым А.Н. и д.ф.-м.н., профессором, членом-корр. РАН, заведующим кафедрой «Математическое моделирование» МГТУ им. Н.Э. Баумана Крищенко А.П., и утвержденном д.т.н., доцентом, первым проректором – проректором по научной работе и стратегическому развитию МГТУ им. Н.Э. Баумана Коробцом Б.Н., указала, что диссертационная работа представляет собой завершённую научную работу, содержащую новые

результаты в решении актуальных задач анализа и синтеза субоптимального фильтра для стохастических систем.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Представлен недостаточно полный обзор полученных ранее результатов решения различных типов задач фильтрации для стохастических задач.
2. В диссертации следовало бы обсудить, какой вид примут полученные результаты в случае малых возмущений.
3. Следует подробнее разъяснить область применения предложенных соискателем методов синтеза анизотропного фильтра и возможность использования полученного фильтра за пределами заданного временного интервала.

Высказанные замечания не влияют на положительную итоговую оценку и не умаляют значимость проделанной работы.

На автореферат поступило 6 отзывов, все они положительные.

1. Отзыв на автореферат к.т.н., доцента, заведующего кафедрой информационных технологий и систем, проректора по информатизации и цифровому развитию Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» Моураова А.Г. не содержит критических замечаний.
2. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., научного сотрудника отдела 71 Федерального Исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук Белинской Ю.С. не содержит критических замечаний.
3. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук» Калябина Д.В. содержит следующие замечания:
 - а) В автореферате представлено очень краткое изложение основных результатов без описания сложностей, возникающих в процессе решения, и их недостатков, связанных со сложностью реализации.
 - б) Автор упоминает, что в диссертационной работе также рассмотрены частные случаи оценителя, но выбор этих частных случаев не обоснован. Не ясно, насколько полно они отражают возможные на практике варианты.
 - в) Частный случай в виде системы со случайными сбоями в датчиках рассмотрен несколько однобоко, поскольку из представленной модели видно, что при сбое информация с датчиков совсем не поступает, хотя чаще всего пропадает только определенная часть информации. Также нет четкого обоснования выбора закона Бернулли для описания сбоев. Возможно, следовало бы рассмотреть

системы со случайными сбоями в датчиках более подробно ввиду их широкого практического применения и разнообразия.

4. Отзыв на автореферат д.т.н., начальника отдела Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-производственный центр автоматизации и приборостроения им. Академика Н.А. Пилюгина» Чайковского М.М., содержит следующие замечания:
 - а) В автореферате при рассмотрении практического примера не приводятся выводы по результатам анализа и моделирования, хотя они могли бы подтвердить практическую ценность полученного автором решения задачи фильтрации.
 - б) Из автореферата непонятно, как соотносится субоптимальное решение с оптимальным, насколько ухудшается точность оценивания. Для сравнения полученных результатов с оптимальным случаем следовало бы рассмотреть и задачу оптимальной фильтрации для данного класса систем.
 - в) Автором выбраны нулевые начальные условия для вектора ошибки оценивания, хотя на практике начальные данные известны не всегда точно. Было бы правильнее рассмотреть произвольные или заданные «с точностью до» начальные условия и провести соответствующий анализ устойчивости.

5. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., заместителя директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научно-технологического центра уникального приборостроения Российской академии наук Чурикова Д.В., содержит следующие замечания:
 - а) Практическое применение субоптимальных анизотропных фильтров вызывает вопросы, поскольку в большинстве научных трудов по данной тематике указывается на высокую вычислительную сложность их реализации.
 - б) Автором была рассмотрена задача фильтрации на конечном интервале времени и не было предложено модификации предложенного анизотропного фильтра для работы в режиме реального времени, что имеет большое значение при использовании методов синтеза фильтров в реальных задачах.
 - в) Значительная часть первой половины работы, судя по автореферату, дублирует уже имеющиеся результаты с их переносом на системы с мультипликативными шумами. Автору диссертации следовало бы акцентировать большее внимание на существенных отличиях, возникающих при решении поставленных им задач.
 - г) В автореферате отсутствует иллюстративный материал.

6. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., доцента кафедры «Теория вероятностей и компьютерное моделирование» Федерального государственного

21
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Игнатова А.Н. содержит следующие замечания:

- а) В связи с тем, что автор выбрал крайне неудачную верстку автореферата (шрифт, поля, междустрочные интервалы), автореферат выглядит слишком большим для автореферата на соискание ученой степени кандидата наук.
- б) Не совсем ясно, зачем отдельно указывать «Выводы», если они сильно коррелируют с результатами, выносимыми на защиту.
- в) По тексту автореферата встречается термин «субоптимальный анизотропный фильтр», однако в чем субоптимальность фильтра не поясняется.
- г) Из автореферата непонятно, насколько в теории и на практике проверяемы условия ограниченности анизотропной нормы для систем с мультипликативными шумами.
- д) Из автореферата не очевидно, проводилось ли исследование влияния параметра γ на выполнимость условий теорем 2,3,4. Также неясно, насколько этот параметр влияет или не влияет на скорость получения численного решения хотя бы в задаче фильтрации для системы со случайным отказом в датчике.

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Иван Романович, Вам предоставляется слово ответить на замечания.

Белов И.Р.(соискатель):

Касательно рассмотренных в диссертационной работе частных случаев оценителей могу сказать следующее: при решении задачи субоптимальной анизотропной фильтрации выводится система в ошибках фильтрации, анизотропная норма которой должна быть ограничена заданной величиной. Для использования полученных результатов решения задач анизотропного анализа необходимо выполнение условия равенства нулю произведения матриц фильтра H и G^T . Очевидно, что это условие выполняется при нулевых значениях матриц H и G . Если предположить, что данное условие выполняется при ненулевых значениях матриц, то к линейным матричным неравенствам и неравенству специального вида, которые необходимо решить для определения матриц искомого фильтра, добавляется матричное уравнение. Решить эту систему неравенств и уравнения не представляется возможным. Поэтому достаточно рассмотреть частные случаи нулевых матриц фильтра H и G . Задачи оптимальной анизотропной фильтрации и задачи фильтрации для более сложных систем со случайными сбоями в датчиках можно считать продолжением исследования, проведенного в диссертационной работе. Многие системы со случайными сбоями в датчиках можно представить в виде суперпозиции рассмотренной в диссертации системы. С остальными замечаниями согласен.

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Спасибо. Приступаем к обсуждению диссертационной работы. По уважительной причине отсутствует первый оппонент, д.ф-м.н., профессор кафедры общетехнических дисциплин Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева Пакшин Павел Владимирович. Слово предоставляется ученому секретарю совета Мусатовой Е.Г. для оглашения отзыва оппонента.

К.ф-м.н. Мусатова Е.Г. (ученый секретарь совета):

(Зачитывает положительный отзыв, перечисляет указанные замечания)

(отзыв прилагается).

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Вопросы по отзыву официального оппонента есть? Нет. Тогда слово предоставляется Ивану Романовичу для ответов на высказанные замечания в отзыве оппонента.

Белов И.Р. (соискатель):

Выбор закона Бернулли для сбоев в датчиках обосновывается тем, что случайные величины с данным законом распределения принимают два различных значения с известной вероятностью и потому подходят для моделирования сбоя, как ситуации, в которой с датчика перестает поступать информация. Система со случайными сбоями в датчиках рассматривается на относительно небольшом интервале времени ввиду вычислительной сложности синтеза субоптимального анизотропийного фильтра, поэтому использование закона Бернулли допустимо, но можно рассмотреть и закон распределения Пуассона. Возможно, обзор литературы не является полным, но от себя могу сказать, что старался описать в нем наиболее известные результаты в теории фильтрации, начиная с фильтра Калмана, основные публикации по анизотропийной теории и примеры задач для систем с мультипликативными шумами. Таким образом, постарался затронуть в обзоре все аспекты диссертационной работы. Касательно небрежности математических обоснований могу сказать, что буду стараться в будущем улучшать качество своих научных работ.

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Спасибо. Слово для обсуждения предоставляется второму официальному оппоненту Деревянкину Алексею Викторовичу, кандидату физико-математических наук, ведущему инженеру ООО «КС Кадровый Консалтинг». Пожалуйста, Алексей Викторович.

К.ф-м.н. Деревянкин А.В. (официальный оппонент):

(Отзыв положительный, прилагается)

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Спасибо большое. Уважаемые члены совета, есть вопросы к официальному оппоненту? Иван Романович, прошу Вас ответить на высказанные замечания.

73

Белов И.Р. (соискатель):

Я благодарю Алексея Викторовича за подробный разбор диссертационной работы и написанный им отзыв. Касательно задачи оптимальной фильтрации могу сказать, что субоптимальный фильтр был выбран по причине своей робастности к изменениям в параметрах системы и свойствах внешних возмущений и большей универсальности, поскольку оптимальный фильтр обеспечивает оптимальную оценку только для заданной конфигурации системы и параметров входных возмущений. Задача выпуклой оптимизации действительно упоминается в диссертации при выводе линейных матричных неравенств. Это отдельная задача, к которой можно перейти, используя полученные матричные неравенства, что отчасти является причиной проведенного перехода к матричным неравенствам. Задача выпуклой оптимизации будет рассмотрена в продолжении исследования по теме диссертационной работы. Касательно использования фильтра за пределами интервала, на котором он строился. Во многих задачах для технических систем проводится несколько прогонов, в течение которых исследуется поведение системы на заданном интервале времени и измеряются ее параметры. Полученные данные используются при синтезе субоптимального анизотропийного фильтра на том же интервале времени. Если модель выбрана правильно и соответствует поведению системы за пределами интервала, то полученный субоптимальный фильтр можно использовать за пределами заданного интервала времени. Признаю наличие ошибок и опечаток в тексте диссертационной работы, в дальнейшем буду стараться следить за качеством работы более внимательно.

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Спасибо большое. Я открываю прения по диссертационной работе. Прошу членов Диссертационного совета высказываться. Уткин Виктор Анатольевич, пожалуйста.

Д.т.н. Уткин В.А. (член Совета):

Коллеги, прежде чем перейти к диссертационной работе соискателя, хотел бы отметить свое крайне негативное отношение к методу линейных матричных неравенств, который сейчас достаточно активно используется при решении задач управления и фильтрации. У этого метода достаточно недостатков, и многие приверженцы данного метода не могут ничем на них ответить. Если вернуться к диссертационной работе, она мне понравилась. Диссертант провел хорошую работу для кандидата физико-математических наук, поставленные в работе задачи решил с математической точки зрения. Хотя при решении линейных матричных неравенств, в терминах которых решается задача субоптимальной анизотропийной фильтрации, возникнет еще немало количество проблем.

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Спасибо. Кто ещё хотел бы выступить, уважаемые коллеги, члены Диссертационного совета, желающих нет. Иван Романович, Вам заключительное слово.

29

Белов И.Р. (соискатель):

Я хотел бы поблагодарить членов диссертационного совета, которые в столь непростые времена все-таки смогли приехать в Институт и выслушать доклад на моей защите. Также хотел бы поблагодарить научного руководителя за его неоценимый вклад в данную работу и коллег по лаборатории, которые также очень помогли мне при преодолении трудностей в процессе решения задач и написания диссертационной работы. Благодарю всех, кто писал отзывы и подмечал недостатки работы, кто помогал и поддерживал в процессе написания диссертации. Постараюсь в будущем повышать уровень своих публикаций, отслеживать все возможные недочеты и расти в научной сфере.

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Спасибо. Тогда нам нужно утвердить счетную комиссию для подсчета голосов. Предлагается в таком составе: д.т.н., член-корр. РАН Галяев А.А. – председатель, члены: д.т.н. Бахтадзе Н.Н., д.т.н. Павлов Б.В.

(Члены диссертационного совета голосуют за утверждение комиссии)

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Прошу счетную комиссию приступить к подсчету голосов.

Предоставляю слово для оглашения результатов голосования председателю счетной комиссии Галяеву Андрею Алексеевичу.

Член-корр. РАН Галяев А.А. (член Совета):

Состав диссертационного совета утверждён в количестве 28 человек. Присутствовали на заседании 19 членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 6 человек. Результаты голосования по вопросу присуждения Белову И.Р. учёной степени кандидата физико-математических наук: за –18, против-1, недействительных бюллетеней-нет.

Д.ф-м.н. Губко М.В. (Председатель Совета):

Членам Совета был роздан проект заключения Диссертационного Совета. Есть ли вопросы, предложения, дополнения по тексту заключения?

(формулируются замечания)

С учетом замечаний «Заключение диссертационного Совета» принимается единогласно открытым голосованием.

Разрешите поздравить Вас, Иван Романович, с успешной защитой диссертации.

Председатель диссертационного
совета Д 002.226.02

д.ф-м.н.



Губко М.В.

Учёный секретарь диссертационного
совета Д 002.226.02

к.ф-м.н.

Мусатова Е.Г.

27.10.2021 г.