

Стенограмма  
Заседания диссертационного совета  
Д 002.226.02

19 сентября 2022 года

Защита диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук Беловым Алексеем Анатольевичем на тему "Методы и алгоритмы анизотропийного управления линейными дескрипторными и параметрически неопределенными системами" по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)»

Москва, 2022.

### Стенограмма

заседания диссертационного совета Д002.226.02 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.

**Губко М.В. (председатель совета):** Запись идет. Сегодня 19 сентября 2022 года. Нам сегодня предстоит провести заседание диссертационного совета Д002.226.02. Я передаю слово секретарю совета для переключки, как это полагается для заседаний в удаленной форме. У нас заседание в удаленной форме. У нас три члена совета по удаленной связи. Прошу.

**Мусатова Е.Г. (секретарь совета):** Добрый день, уважаемые члены диссовета. Давайте все, кто находится онлайн, проверим, как проходит связь. (делает переключку членов совета, участвующих удаленно).

Еще у нас удаленно присутствует два оппонента. (делает переключку оппонентов).

**Губко М.В. (председатель совета):** (Делает переключку присутствующих в зале).

№	ФИО	Уч. степень, шифр	Форма участия
1	Губко М.В.	Д.ф.-м.н. 05.13.10	Очно
2	Мусатова Е.Г.	К.ф.-м.н. 05.13.01	Очно
3	Афанасьев В.Н.	Д.т.н. 05.13.10	Очно
4	Бахтадзе Н.Н.	Д.т.н. 05.13.10	Очно
5	Бурков В.Н.	Д.т.н. 05.13.10	Очно
6	Дорри М.Х.	Д.т.н. 05.13.12	Очно
7	Лазарев А.А.	Д.ф.-м.н. 05.13.01	Очно
8	Лебедев В.Г.	Д.т.н. 05.13.12	Очно
9	Мандель А.С.	Д.т.н. 05.13.10	Очно
10	Назин А.В.	Д.ф.-м.н. 05.13.01	Очно
11	Рапопорт Л.Б.	Д.ф.-м.н. 05.13.01	Удаленно
12	Солнечный Э.М.	Д.ф.-м.н. 05.13.01	Очно
13	Уткин В.А.	Д.т.н. 05.13.12	Удаленно
14	Хачумов В.М.	Д.т.н. 05.13.12	Очно
15	Цвиркун А.Д.	Д.т.н. 05.13.10	Удаленно
16	Чхартишвили А.Г.	Д.ф.-м.н. 05.13.01	Очно
17	Щербаков П.С.	Д.ф.-м.н. 05.13.01	Очно
18	Щепкин А.В.	Д.т.н. 05.13.10	Очно

На повестке дня у нас защита диссертации на соискание доктора физико-математических наук Беловым Алексеем Анатольевичем на тему «Методы и алгоритмы анизотропийного управления линейными дескрипторными и параметрически неопределенными системами» по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)». Пока что этот действует номер.

Научный консультант – Чайковский Михаил Михайлович, д.т.н., начальник отдела АО «Научно-производственный центр автоматизации и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина» (АО «НПЦАП»).

Официальные оппоненты:

Пакшин Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Федерального государственного бюджетно-

го образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» Арзамасский политехнический институт (филиал),

Семенихин Константин Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Теория вероятностей и компьютерного моделирования»,

Маликов Александр Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ», профессор кафедры «Автоматика и управление»

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»  
Прошу ученого секретаря доложить нам об документах, находящихся в личном деле.

**Мусатова Е.Г. (ученый секретарь совета):** (Оглашает документы, имеющиеся в личном деле соискателя. Сообщает о соответствии представленных документов и материалов предварительной экспертизы требованиям Положения о присуждении ученых степеней.)

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое. Есть ли вопросы у членов совета по представленным документам? Вопросов нет. Тогда предоставляется слово для доклада диссертанту.

**Белов А.А. (соискатель):** (Кратко излагает актуальность работы, основные положения, выносимые на защиту и основные результаты диссертации.) \*Автореферат диссертации и раздаточный материал имеются у каждого члена совета и в личном деле соискателя\*

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое. Переходим к вопросам. У кого из членов совета или присутствующих есть вопросы по докладу? Пожалуйста. Кто хочет задать вопросы, желательно выходить вот сюда, пожалуйста. Тут микрофон включен. Прошу вас, Валерий Николаевич. Да, и громко представляйтесь.

**Афанасьев В.Н. (член совета):** Афанасьев Валерий Николаевич. Значит, у меня вопрос на 27й приблизительно 28й плакат.

**Губко М.В. (председатель совета):** Ближе к микрофону, пожалуйста, если можно. Ближе.

**Афанасьев В.Н. (член совета):** 27й-28й плакат. Как анализировалась устойчивость системы? Там же у вас неполная информация о состоянии объекта находится. Вот как проанализирована устойчивость системы?

**Белов А.А. (соискатель):** Тут можно сделать несколькими способами. Во-первых, мы замыкаем объект, параметры все известны, параметр регулятора известен. И либо мы считаем конечные собственные значения и смотрим, что они лежат внутри единичного круга, либо мы берем какое-либо линейное матричное неравенство в форме Ляпунова обобщенное, подставляем туда и смотрим.

**Афанасьев В.Н. (член совета):** Это понятно, но у вас есть разброс параметров тоже?

**Белов А.А. (соискатель):** Нет. Здесь предполагается, что система с точно заданными параметрами.

**Губко М.В. (председатель совета):** Прошу прощения. Вернулось. У нас пропадала связь ненадолго не было изображения на трансляции. Продолжайте, пожалуйста, извините.

**Афанасьев В.Н. (член совета):** И вопрос такой же приблизительно. На плакат 44й. Там есть формула. Здесь еще неверно написано, что  $K$  при этом управляющее воздействие. Это не управляющее воздействие, а просто параметры регулятора. Вот эта черточка что обозначает сверху  $LG$  и в минус первой степени. Это матрица не квадратная.

**Белов А.А. (соискатель):** Да, да. Это просто LaTeX так склеил две черточки. Здесь две матрицы  $L$  с черточкой и  $G$  с черточкой. Матрица  $G$  квадратная и невырожденная. Здесь матрица  $L$ , умноженная на обратную матрицу к матрице  $G$ .

**Афанасьев В.Н. (член совета):** И вопрос еще. У вас при неполной информации о состоянии объекта, но управление  $K$  является функцией от  $x$  и  $y$ .

**Белов А.А. (соискатель):** Это такая обобщенная запись. Т.е. если мы решаем задачу при неполном измерении, то тогда  $K$  от  $y$ .

**Афанасьев В.Н. (член совета):** А если полное измерение, то  $Kx$ , да.

**Белов А.А. (соискатель):** Это просто так, чтобы сэкономить место так записывал.

**Афанасьев В.Н. (член совета):** Спасибо.

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое. Уважаемые коллеги, еще вопросы есть к докладчику, по докладу? Вопросов нет. Тогда переходим к следующему пункту. Слово предоставляется научному руководителю для характеристики диссертанта. Научный консультант, извините. А я сказал руководитель. Извините.

**Чайковский М.М. (научный консультант):** Уважаемые члены диссертационного совета. Я являюсь научным консультантом Алексея Анатольевича Белова, но как справедливо сейчас было замечено, я не могу назвать себя его научным руководителем. Учитель у нас с ним один. В общем, анизотропийной теорией мы занимались с Алексеем под руководством Александра Петровича Курдюкова. Алексей в 2008 году закончил ту же кафедру, что и я в МГТУ им. Баумана. Кафедру систем автоматического управления летательными аппаратами. И изъявил желание обучаться в очной аспирантуре ИПУ РАН. За время обучения и работы над своей кандидатской диссертацией, Алексей также работал в первой лаборатории под руководством А.П. Курдюкова, который и поставил ему задачу исследовать возможность применения результатов анизотропийной теории стохастического робастного управления к дескрипторным системам – к новому классу. Алексей эти результаты получил и в плане анализа, и в плане синтеза. Насколько я знаю, на защитах диссертаций руководители не говорят о самой работе, а говорят о личных качествах соискателя. Я хочу сказать, что за годы, которые Алексей отработал в ИПУ РАН в первой лаборатории, занимаясь научными исследованиями по тематике нашей группы, он показал себя очень работоспособным, целеустремленным человеком, защитив в 2011 году кандидатскую диссертацию, не остановился на достигнутом и продолжил свое развитие, получив много разнообразных интересных результатов, в которых здесь доложил. Он всегда стремился и стремится сейчас публиковаться в ведущих рецензируемых изданиях. Его целеустремленности и работоспособности хватило на то, чтобы опубликовать две монографии, одна из которых издана в Springer. Мы с Алексеем работали над конечным текстом его диссертации. Он корректировался не один раз и не два, много обсуждали. По сути диссер-

тации не говорю, но когда у нас довольно часто возникали какие-то споры, у Алексея хватало целеустремленности и профессионализма для того, чтобы отстаивать свою правоту, даже если мне и окружающим казалось, что она не всегда очевидна. Что можно сказать в заключении: работа выполнена большая, работа непростая, путь пройден долгий. И я призываю вас, уважаемые члены диссертационного совета, голосовать за присуждение Белову Алексею Анатольевичу ученой степени доктора физико-математических наук. У меня все.

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо, Михаил Михайлович. Слово предоставляется ученому секретарю для оглашения отзывов на работу. Прошу.

**Мусатова Е.Г. (секретарь совета):** (зачитывает заключение организации, в которой выполнялась диссертация, отзыв ведущей организации и отзывы на автореферат).

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое. Если нет вопросов по прозвучавшим отзывам, переходим к обсуждению диссертации и слово предоставляется официальным оппонентам. Я предлагаю в том порядке, в котором они перечислены в деле. И слово предоставляется Пакшину П.В., который присутствует удаленно. Павел Владимирович, вам слово.

**Пакшин П.В. (официальный оппонент):** Уважаемые коллеги, меня слышно?

**Губко М.В. (председатель совета):** Да.

**Пакшин П.В. (официальный оппонент):** Хорошо, тогда я приступаю к своему отзыву. По актуальности темы я скажу очень коротко, потому что соискатель очень хорошо сказал. Когда мы говорим о стохастических системах, то у нас там.

**Губко М.В. (председатель совета):** Коллеги, переключите, пожалуйста, на основной экран. Чтобы коллеги видели оппонента. Сейчас все остальные в зале вас тоже видят. Продолжайте, пожалуйста.

**Пакшин П.В. (официальный оппонент):** Статистические характеристики этих возмущений, это, как правило, очень сложная задача. Это сложность задачи идентификации ковариационной матрицы. Я не буду уважаемой аудитории объяснять, насколько это непросто. И то, что в работе вводится анизотропный показатель, это очень хорошая находка. Она позволяет с помощью одного скалярного параметра задавать меру коррелированности случайных внешних возмущений без точного знания ковариационной матрицы. И как это показано автором в работе, позволяет получать более тонкую настройку регулятор, и на примере он убедительно показал, что это очень хорошо работает. И это одна из таких центральных вещей, которая характеризует актуальность этой работы. Работа понравилась, как она написала. Я говорю о структуре содержания работы. Очень логичное изложение, потом, когда мы сталкиваемся с работами по физ-мат наукам, то частая беда – это идет увлечение формалистикой, работа читается тяжело. У автора достигнуто разумное сочетание неформальных описаний и строгих математических формулировок. Все математические результаты сформулированы строго и корректно, но тем не менее у автора приведено необходимое число иллюстраций, пояснений, поэтому работа читается легко и логично построена. Не буду отдельно говорить о содержании отдельных глав. Перейду к научной новизне.

(зачитывает отзыв и замечания к диссертации).

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое. Алексей Анатольевич, вам удобно будет отвечать скопом на замечания всех оппонентов или вы хотите отвечать после каждого? Тогда вам предоставляется слово для ответа на замечания.

**Белов А.А. (соискатель):** Первое замечание. Павел Владимирович сказал, что ранговые ограничения где-то более слабые, где-то менее слабые. Там, где мы решаем задачи оптимального управления и доказываем, например, инертность системы, нам необходима разрешимость уравнений Риккати, и здесь, к сожалению, жесткие ранговые ограничения, которые придуманы не мной и как их обойти, мы пока еще не знаем. Они необходимы, чтобы найти решение уравнения Риккати. Там, где их можно ослабить – это ЛМІ, и ранговые ограничения на самом деле вызваны только тем, чтобы можно было гарантировать ограниченность нормы числом  $\gamma$ . Если мы будем решать задачу оптимизации, то в принципе даже это ранговое ограничение можно опустить, но только мы не будем знать точное значение анизотропийной нормы без этого ограничения. Что касается блок-схемы алгоритма, да, действительно он является сложным, и я хотел показать, что техника Риккати не всегда является удачной. И почему техника ЛМН все-таки лучше, но конечно техника Риккати необходима, и необходима в первую очередь, чтобы можно было переписать результаты через ЛМН. С остальными мелкими замечаниями и согласен.

**Губко М.В. (председатель совета):** Слово предоставляется следующему официальному оппоненту – Семенихину Константину Владимировичу. Прошу вас.

**Семенихин К.В. (официальный оппонент):** Дорогие коллеги, мне выпала почетная обязанность доложить свой отзыв об этой замечательной работе. Хотелось бы начать с некоего воспоминания, потому что мой отзыв не будет сейчас формальным, я не буду зачитывать его. Дело в том, что мы с А.П. Курдюковым учителем в высоком смысле слова диссертанта я был знаком достаточно давно, и еще где-то может быть лет 7 назад он мне говорил, что есть дескрипторные системы, даже показывал некоторые результаты, даже диссертация была защищена. Я ничего не понимал. И теперь Алексей Анатольевич замечательно объяснил, в чем их смысл, в чем их актуальность, потому что, например, для меня первый неразрешимый вопрос была бы проблема актуальности «где они используются?» Они весьма насущны, к сожалению, в диссертации это не нашло четкого отражения, потому что Алексей Анатольевич хотел отделить, написать работу с нуля, чтобы не было никаких вопросов по его вкладу. Но он является соавтором замечательной монографии по дескрипторным системам, где как раз дается длинный перечень с описанием этих самых систем, где действительно они изначально записываются в таком виде, где возникает вопрос, они описывают некое упреждающее преобразование или неупреждающее. И действительно, тем самым показывается, что такие системы нужно исследовать. При чтении диссертации я вспомнил, что в свое время мне говорил Александр Петрович, я понял, что диссертант реализовал глобальную идею его учителя, это надо по-настоящему оценить. Я сейчас выступаю в роли адвоката, хотя оппонент должен ругать, вставлять колкие замечания. Такие замечания есть. Возможно, они связаны с тем, что это новый объект. (зачитывает отзыв и замечания к диссертации).

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое. Алексей Анатольевич, прошу вас по возможности кратко ответить на высказанные замечания, рекомендую начать с фразы «я полностью согласен», на вопрос «В чем измерять анизотропию?» можете не отвечать.

**Белов А.А. (соискатель):** Спасибо за отзыв. На самом деле там же замечания требуют некоторых комментариев, поэтому краткие комментарии нужны. По поводу первого замечания – это непричинность системы – как раз таки это дефект математической модели, потому что если мы в непрерывном времени эту модель строим, то там такой проблемы нет,

там необходимо дифференцировать вход, а как только мы переходим в дискретное время, то появляется это. Определение решения алгебро-дифференциального уравнения – это все-таки решение в текущий момент времени. И математически получается так, что часть этого решения будет зависеть от будущего, поэтому это дефект модели. Что касается условия оптимальности – седловая точка. Если система является стабилизируемой, а в моем случае еще причинно управляемой, тогда у нее есть конечная анизотропийная норма, и, очевидно, можно найти какой-нибудь минимум. Как минимум, ее можно посчитать. Таким образом, если условие стабилизируемости и причинной управляемости выполнено, то мы смело можем говорить, что оптимальный регулятор будет существовать. И там еще одно замечание и группа замечаний, которые были и в отзывах на автореферат, и в отзыве ведущей организации. На самом деле это открытый вопрос, на него ответить тяжело, потому что в настоящий момент мы пока не можем дать какие-то рекомендации инженеру, каким образом и как руководствоваться выбором средней анизотропии, кроме как задать ее, получить регулятор, промоделировать и посмотреть, удовлетворяет или нет. Пока этот вопрос открытый и да, это очень важное замечание.

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое. Слово предоставляется третьему официальному оппоненту – Маликову Александру Ивановичу, присутствующему удаленно. Пока мы не слышим вас, включите микрофон, пожалуйста.

**Маликов А.И. (официальный оппонент):** Уважаемые коллеги, я тоже подготовил отзыв по диссертации Белова А.А. Отзыв положительный. В нем отмечается актуальность, соответствие паспорту специальности, научная новизна, кратко – разработаны методы для исследования и синтеза новых объектов, которые представляются алгебро-разностными объектами, а также с учетом неопределенностей параметров. Хотелось отметить, что работа выполнена в научной школе, что немаловажно. Затем, характеризуется сама работа, по главам, я не буду останавливаться. Не обошлось без замечаний. Это объемная работа. Я во время прочтения этой работы общался с диссертантом, у меня осталось вполне определенное мнение о том, что он соответствует искомой степени, поскольку на все вопросы, которые у меня возникали, он давал четкие грамотные ответы, на ряд замечаний он соглашался, и достаточно быстро у меня сложилось мнение дать положительное заключение по диссертации. (читает отзыв на диссертацию и замечания к ней).

**Губко М.В. (председатель совета):** Александр Иванович, спасибо большое. Алексей Анатольевич, по возможности кратко рекомендую ответить на замечания.

**Белов А.А. (соискатель):** Большое спасибо за отзыв, здесь буду краток, потому я согласен с замечаниями. Небольшой комментарий по поводу нелинейных систем. К сожалению, анизотропийную теорию там применить не получится и надо какие-то придумывать новые критерии информационные, чтобы усовершенствовать теорию управления нелинейными системами. В принципе, это все.

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое. Если у членов диссертационного совета нет вопросов к оппоненту и к диссертанту, касающихся его ответов на замечания оппонентов, тогда мы переходим к прениям, в которых принимают участие все, кроме научного консультанта.

**Каршаков Е.В. (д.т.н., зав. лаб. №1 ИПУ РАН):** Добрый день, уважаемые коллеги, я постараюсь тоже кратко сказать, что я принял наследство Александра Петровича и Алексей можно сказать один бриллиантов этого наследства. Я просто хотел заметить, что эта работа, она многократно обсуждалась на семинарах нашей лаборатории, обсуждалась в том числе с международным участием. Я должен отдать Алексею должное, что все приведен-

ные результаты им выстраданы и были с боем защищены не только здесь, как мне кажется, но и многократно перед лицом суровых сотрудников нашей лаборатории и других участников мирового научного сообщества. Честно считаю, что Алексей заслуживает присуждения ученой степени, и рекомендую коллегам голосовать «за».

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое. Кто еще хотел бы выступить? Подходите к микрофону. Сразу представляйтесь для протокола.

**Афанасьев В.Н (член совета):** Афанасьев Валерий Николаевич. Я еще писал отзыв на диссертацию кандидатскую Белову и во многом познакомился с его работой еще тогда. И уже на докторской диссертации предыдущем нашим предзащите я участвовал в дискуссии вместе с Владимировым по поводу тех ошибок, которые обнаружились в той редакции диссертации. Поэтому я могу сказать, что значительная часть того, что было отмечено не совсем отрицательного, но того, что можно было исправлять, исправлено в этой работе. И я буду голосовать «за».

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо большое, Валерий Николаевич. Кто еще хочет выступить? Спасибо большое за высказанные мнения. Мы переходим к голосованию, но перед этим заключительное слово предоставляется диссертанту. По результатам прозвучавшего. По возможности коротко прошу ответить.

**Белов А.А. (соискатель):** Если честно, я не знаю, что говорить в заключительном слове. Во-первых, я хочу поблагодарить всех, кто пришел поддержать меня, всех, кто меня выслушал, кто выступил, кто задавал вопросы. Большое спасибо вам, и конечно спасибо Александру Петровичу.

**Губко М.В. (председатель совета):** Действительно, спасибо вам и спасибо Александру Петровичу. Мы переходим к голосованию. Поскольку у нас заседание в удаленном режиме, мы не выбираем счетную комиссию. Вместо этого членам диссертационного совета как присутствующим очно, так и присутствующим удаленно, направлена ссылка для голосования. Вы можете воспользоваться своими устройствами, а те, у кого устройства нет и кто хочет проголосовать, а проголосовать должны все, потому что у нас кворум с минимальным превышением, в том числе Энгель Михайлович, должен проголосовать, обращаю внимание. Подходите к ученому секретарю, она откроет соответствующую страницу для голосования.

(происходит процедура голосования)

**Губко М.В. (председатель совета):** Уважаемые члены совета, при 19 присутствующих в электронной системе проголосовало 22 человека. Налицо имеется технический сбой в системе. Результаты голосования я не скажу, поскольку они нерелевантны, придется голосовать повторно. Это значит, что технический секретарь диссертационного совета запускает новое голосование. (проводит инструктаж по поводу голосования)

(происходит ожидание голосования, идет процедура повторного голосования)

**Губко М.В. (председатель совета):** Давайте посмотрим на результаты. Оглашаются результаты тайного голосования по поводу диссертации Белова А.А. Запись ведется? Хорошо. Итак, прошу вас, ученый секретарь.

**Муатова Е.Г. (секретарь совета):** Состав диссертационного совета утвержден в количестве 27 человек, на заседании присутствовало 18 человек, в том числе удаленно 3, из них



докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 6. Результаты тайного голосования о присуждении ученой степени доктора физико-математических наук Белову А.А.: «За» - 16 человек, «Против» - 2.

**Губко М.В. (председатель совета):** Спасибо. Таким образом члены диссертационного совета проголосовали за то, чтобы присвоить Белову А.А. степень д.ф.-м.н., поздравляем. Переходим к обсуждению заключения диссовета. Проекты розданы членам диссовета. Прошу посмотреть, что под пунктом 5 отзыв на автореферат оригинал не пришел, поэтому он не будет включен в финальный вариант заключения. Есть ли вопросы и предложения по тексту, надеюсь, что у всех было достаточно времени, чтобы ознакомиться. Готовы ли члены совета голосовать по проекту? Нет возражений? Кто за то, чтобы утвердить с учетом предложенных изменений проект заключения? Против нет, воздержавшихся нет. Принято единогласно. Спасибо большое, на этом мы завершаем заседание. Путь был тяжелый, даже голосовать пришлось два раза, но все трудности были преодолены. Спасибо.

**Зам. директора по  
научной работе**



**С.А. Краснова**

(инициалы, фамилия)

**Председатель диссертационного совета**

Д 002.226.02

(шифр диссовета)

**М.В. Губко**

(инициалы, фамилия)

**Ученый секретарь диссертационного совета**

Д 002.226.02

(шифр диссовета)

**Е.Г. Мусатова**

(инициалы, фамилия)

Дата 20.09.2022