

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА**  
Д 002.226.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 19 сентября 2022 г., № 10

О присуждении **Белову Алексею Анатольевичу**, гражданину  
Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «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)» принята к защите 28 апреля 2022 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом Д 002.226.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, приказ ВАК о создании диссертационного совета № 1318-в от 29.12.2000 г.).

Соискатель Белов Алексей Анатольевич, 1985 года рождения, защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Синтез анизотропийных регуляторов для дескрипторных систем» в 2011 году в диссертационном совете Д 002.226.02, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук. В настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук в лаборатории №1 «Динамических информационно-управляющих систем им. Б.Н. Петрова» в должности старшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории №1 Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

**Научный консультант** – доктор технических наук, **Чайковский Михаил Михайлович**, 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, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» Арзамасский политехнический институт (филиал), заведующий кафедрой прикладной математики,

**Семенihin Константин Владимирович**, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учре-

ждение 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»

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»** в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой прикладной кибернетики СПбГУ, доктором физико-математических наук, профессором **Кузнецовым Николаем Владимировичем**, и утвержденным проректором по научной работе СПбГУ кандидатом физико-математических наук **Микушевым С.В.**, указала, что результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах при проектировании цифровых систем автоматического управления.

Диссертация Белова Алексея Анатольевича на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать **как научное достижение**, имеющее важные теоретическое и прикладное значения. Автореферат диссертации в достаточном объеме отражает основные результаты, полученные в работе. Высказанные замечания не снижают ценность работы.

Таким образом, диссертационная работа Белова А.А. «Методы и алгоритмы анизотропного управления линейными дескрипторными и параметрически неопределенными системами» соответствует пункту 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней и отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям; а ее автор 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).

**Заключение ведущей организации имеет следующие замечания:**

1. Из диссертационной работы неясно, какими практическими соображениями должен руководствоваться разработчик при выборе уровня средней анизотропии.

2. Не объясняется, можно ли оценить уровень средней анизотропии случайной последовательности по измерениям.

3. В работе присутствуют опечатки. Например, на стр. 22 указано, что диссертация состоит из шести глав, а на стр. 198 приведена ссылка на теорему 5.5 вместо теоремы 5.4.

4. В примере 5.6 не показано применение теоремы 5.13 для синтеза динамического регулятора заданного порядка по выходу.

Сделанные замечания во многом носят характер рекомендаций и не ставят под сомнение результаты работы.

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. 5 статей в рецензируемых изданиях являются сольными.

**Наиболее значимые публикации из числа рецензируемых изданий:**

1. Belov A.A., Kurdyukov A.P. Calculation of the anisotropic norm of the descriptor system. // Automation and Remote Control, V. 71, pp. 1022–1033, 2010.

2. Belov A.A. Anisotropic controller design for descriptor systems with respect to the output variable // Automation and Remote Control. V. 74, No. 11. pp. 1838–1850, 2013.

3. Belov A.A., Andrianova O.G. A New Anisotropy-Based Control Design Approach for Descriptor Systems Using Convex Optimization Techniques // IFAC-PapersOnLine, Volume 48, Issue 11, pp. 372–377, 2015.

4. Belov A.A., Andrianova O.G. Anisotropy-based Suboptimal State-Feedback Control Design Using Linear Matrix Inequalities // Automation and Remote Control. V. 77, No. 10, pp. 1741–1755, 2016.

5. Belov A.A., Andrianova O.G. Robust anisotropy-based control of linear discrete-time descriptor systems with norm-bounded uncertainties // IFAC-PapersOnLine. Vol. 50, Issue 1, pp. 15471–15476, 2017.

6. Belov A.A., Andrianova O.G. On LMI Approach to Robust State-Feedback  $H_\infty$  Control for Discrete-Time Descriptor Systems with Uncertainties in All Matrices // IFAC-PapersOnLine. Vol. 50, Issue 1, pp. 15483–15487, 2017.

7. Belov A.A., Andrianova O.G. Robust state-feedback  $H_\infty$  control for discrete-time descriptor systems with norm-bounded parametric uncertainties // International Journal of Systems Science. Vol. 50, No. 6, pp. 1303–1312, 2019.

8. Belov A.A., Ortega R., Bobtsov A.A. Parameter Identification of Linear Discrete-Time Systems with Guaranteed Transient Performance // IFAC-PapersOnLine. Vol. 51, Issue 15, pp. 1038–1043, 2018.

9. Andrianova O.G., Belov A.A., Kurduykov A.P. Conditions of anisotropic norm boundedness for descriptor systems // Journal of Computer and Systems Sciences International. USA: Pleiades Publishing. Vol. 54, No. 1, pp. 27–38, 2015.

10. Andrianova O.G., Belov A.A. Robust Anisotropy-Based Control for Uncertain Descriptor Systems with Transient Response Constraints // IFAC-PapersOnLine, Vol. 51, Issue 32, pp. 515–520, 2018.

11. Andrianova O.G., Belov A.A. Robust performance analysis of linear discrete-time systems in presence of colored noise // European Journal of Control. Vol. 42. pp. 38–48, 2018.

12. Belov A.A., Andrianova O.G. Robust Control Design for Suppressing Random Exogenous Disturbances in Parametrically Uncertain Linear Systems. // Automation and Remote Control. Vol. 81, No 4. pp. 649661, 2020.

13. Belov A.A. State-feedback anisotropy-based robust control of linear systems with polytopic uncertainties // Journal of Physics: Conference Series. 1536. pp. 012008 (1–8), 2020.

14. Kurdyukov A.P., Andrianova O.G., Belov A.A., Gol'din D.A. In Between the LQG/H<sub>2</sub>- and H<sub>∞</sub> -Control Theories. // Automation and Remote Control. Vol. 82, No. 4. pp. 565-618, 2021.

15. Belov A.A. Robust pole placement and random disturbance rejection for linear polytopic systems with application to grid-connected converters. // European Journal of Control, vol. 63, pp. 116–125, 2022.

16. Andrianova O.G., Belov A.A. Suboptimal anisotropy-based control for linear discrete-time systems with norm-bounded uncertainties // Proceedings of the 14th International Conference "Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems"(Pyatnitskiy's Conference) (STAB-2018, Moscow). M.: IEEE, pp. 14, 2018.

17. Belov A.A. Random Disturbance Attenuation in Discrete-time Polytopic Systems: Performance Analysis and State-Feedback Control // Proceedings of the 2020 European Control Conference (ECC 20, Saint Petersburg, Russia). Saint-Petersburg: IEEE, pp. 633–637, 2020.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы, все отзывы положительные.

#### Отзывы с замечаниями:

1. Отзыв на автореферат д.ф.-м.н., профессора **Когана М.М.**, заведующего кафедрой математики ФГБОУ ВО «Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета», содержит следующие замечания:

- В теоремах 1, 4 и 5 требуется решать обобщенное алгебраическое уравнение Риккати. Автору следовало бы указать численные методы решения таких уравнений.
- Условия, представленные в теоремах 17 и 18, формулируются в терминах взаимнообратных матриц. Автору следовало бы отметить, каким образом данная задача может быть решена численно.

2. Отзыв на автореферат д.т.н., профессора **Никифорова В.О.**, проректора по научной работе Университета ИТМО, содержит замечание:

- В автореферате следовало бы прокомментировать возможность численной реализации полученных методов анализа и синтеза, а также кратко описать их вычислительную сложность.

3. Отзыв на автореферат д.т.н., доцента **Шестакова И.Н.**, ученого секретаря ФГУП ГосНИИ ГА, содержит следующие замечания:

- В автореферате отсутствует содержательный пример синтеза закона управления для алгебро-разностной системы.
- Из автореферата не ясно, каким образом методы синтеза управления по состоянию могут быть применены на практике.
- Список публикаций автора оформлен не по ГОСТу.

4. Отзыв на автореферат д.ф.-м.н., доцента **Гасникова А.В.**, заведующего кафедрой Математических основ управления ФПМИ МФТИ, содержит следующие замечания:

- В автореферате отсутствует моделирование динамики замкнутой алгебро-разностной системы с анизотропным управлением.
- Не раскрыты некоторые условные обозначения, например, неясно, что означает оператор  $He(\cdot)$ .

5. Отзыв на автореферат д.т.н., профессора Гаврилова В.С., заместителя начальника теоретического отделения по инновационному развитию - главного научного сотрудника АО «Научно-производственный центр автоматизации и приборостроения им. академика Н.А. Пилюгина», содержит следующее замечание:

- В автореферате отсутствует практическое сравнение преимуществ анизотропных регуляторов перед существующими  $H_2$  и  $H_\infty$  регуляторами.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается профилем их научной деятельности и профессиональных интересов.**

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **разработаны** методы анизотропного анализа и вычисления анизотропной нормы дескрипторной системы с использованием обобщенных алгебраических уравнений Риккати и методов выпуклой оптимизации;

- **сформулированы и решены** задачи оптимального и субоптимального анизотропного управления линейными дескрипторными системами при полном и неполном измерении вектора состояния системы;

- **предложены** аналитические методы и алгоритмы построения оптимальных и субоптимальных анизотропных законов управления для линейных дескрипторных систем;

- **разработаны** методы анализа и синтеза робастных анизотропных и  $H_\infty$  регуляторов для линейных дескрипторных систем с ограниченными по норме параметрическими неопределенностями;

- **предложены** новые аналитические методы анализа и синтеза обыкновенных линейных систем с параметрическими неопределенностями;

- **разработаны** алгоритмы анализа и синтеза робастных обыкновенных систем с параметрическими неопределенностями в рамках анизотропного подхода.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **развита** теория понижения влияния внешних случайных возмущений применительно к дескрипторным и параметрически неопределенным обыкновенным линейным системам;

- **рассмотрены** новые для данной области науки постановки задач, связанные с наличием алгебраических связей между переменными состояния;

- **доказаны** аналитические условия проверки устойчивости систем с ограниченностью анизотропийной нормы, а также аналитические условия существования стабилизирующих законов управления с заданными характеристиками;

- **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы линейной алгебры, теории вероятностей и случайных процессов, теории функций комплексного переменного, теории дифференциальных уравнений, функционального анализа, методы математического моделирования и методы оптимизации;

- **изложены** аналитические методы и их доказательства применительно к решениям задач анализа и синтеза анизотропийных регуляторов в классах линейных дескрипторных и параметрически неопределенных систем.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

- **представлены** методы анизотропийного анализа и синтеза анизотропийных регуляторов в новых классах систем;

- **созданы алгоритмы** проверки качества функционирования замкнутых линейных дескрипторных и параметрически неопределенных систем;

- **созданы алгоритмы** синтеза законов управления в классах линейных дескрипторных и параметрически неопределенных систем с анизотропийным критерием качества, позволяющим снизить энергетические затраты на реализацию законов управления.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **теория и методы**, лежащие в основе разработанных алгоритмов, основываются на строгом математическом аппарате, адекватных постановках задач и согласуются с данными публикаций по тематике диссертации;

- **идеи базируются** на обобщении существующих методов и подходов к синтезу робастных законов управления в классах линейных дескрипторных и параметрически неопределенных систем с анизотропийным критерием качества;

- **теоретические результаты и выводы диссертационной работы** основаны на известных проверяемых данных, согласуются с опубликованными результатами по теме диссертации как частными случаями разработанных методов;

- **научные результаты**, представленные в диссертации, не противоречат общепринятым концепциям и положениям, научные положения и выводы подтверждены полными и строгими математическими доказательствами, а также результатами математического и компьютерного моделирования.

**Личный вклад соискателя** состоит в самостоятельном получении всех основных результатов диссертационного исследования, а именно:

- в анализе предметной области;
- в постановке цели и задач диссертационного исследования;
- в разработке новых методов анализа и синтеза анизотропийных регуляторов для дескрипторных систем, в том числе методов анизотропийного анализа дескрипторных систем с использованием техники Риккати, методов выпуклой

оптимизации, синтеза оптимальных и субоптимальных анизотропийных законов управления дескрипторными системами при полном и неполном измерениях вектора состояния, методов робастного анизотропийного и  $H_\infty$  анализа и синтеза робастных анизотропийных и  $H_\infty$  регуляторов для дескрипторных систем с ограниченными по норме параметрическими неопределенностями;

- в разработке новых методов анализа и синтеза робастных анизотропийных регуляторов для линейных систем с ограниченными по норме и политописческими параметрическими определенностями при полном и неполном измерении вектора состояния;

- в подготовке публикаций по теме исследования;

- апробации результатов научного исследования в докладах на научных конференциях.

Личное авторство всех результатов, выносимых на защиту, подтверждается публикациями статей в рецензируемых журналах и докладами на всероссийских и международных конференциях.

На заседании 19 сентября 2022 г. диссертационный совет постановил за разработку методов анизотропийного управления для классов дескрипторных и параметрически неопределенных систем, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области теории управления линейными системами, присудить Белову А.А. ученую степень доктора физико-математических наук.

При подсчёте голосов по вопросу о присуждении Белову Алексею Анатольевичу учёной степени доктора физико-математических наук присутствовало 18 членов совета (очно – 15, удаленно – 3) из 27 утвержденных в составе, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – 6.

В результате технических неполадок (ссылки для голосования были отправлены в том числе некоторым членам диссертационного совета, временно отсутствовавшим на заседании совета) в тот же день после технического перерыва было проведено повторное тайное голосование.

Результаты первого голосования: проголосовал 21 член совета, за присуждение ученой степени – 20, против – 1. Результаты повторного голосования: проголосовало 18 членов совета, за присуждение ученой степени – 16, против – 2.

Зам. директора по научной работе,  
д.т.н.

Председатель диссертационного  
совета Д 002.226.02, д.ф.-м.н.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 002.226.02, к.ф.-м.н.

19 сентября 2022 года



Краснова С.А.

Губко М.В.

Мусатова Е.Г.