УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
СПбГУ
_____С.В. Микушев
«03» июня 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»
на диссертационную работу Белова Алексея Анатольевича
на тему «Методы и алгоритмы анизотропийного управления линейными дескрипторными и параметрически неопределенными системами»,
представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации).

Актуальность темы диссертационной работы.

Бурное развитие и повсеместное внедрение цифровых технологий, а также растущие вычислительные мощности подразумевают разработку новых эффективных методов анализа и обработки дискретных данных, построение моделей процессов и систем управления в дискретном времени. Это в свое очередь влечет необходимость использования новых цифровых регуляторов при управлении техническими объектами. Реальные технические объекты управления, как правило, функционируют в условиях неопределенностей, связанных как с неизвестными заранее внешними возмущениями, так и со случайными ошибками измерения. Практическая реализация законов управления требует обеспечения устойчивости и желаемых характеристик замкнутой системы в условиях параметрической неопределенности, шумов измерительных устройств и внешних неизмеряемых возмущающих воздействий.

Для решения задач подавления возмущений в теории управления применяются разнообразные подходы. Среди подобных подходов можно выделить геометрические подходы, компенсационные подходы, а также методы минимизации влияния определенного класса возмущений на управляемый выход системы. В последнем случае подавление влияния внешних возмущений может быть реализовано для некоторого наперед заданного множества сигналов. Наиболее яркими примерами в данном случае являются LQG/H2 и H∞ подходы. В обоих случаях внешнее возмущение является неизвестным, однако известна его принадлежность к некоторому наперед заданному множеству сигналов. В случае LQG/H2 подхода внешним возмущением является гауссовский белый шум, а в случае

H∞ теории - сигналы ограниченной мощности. Оба подхода имеют схожую идеологию и философию, а также некоторые существенные недостатки. Так, LQG/H2 регуляторы не являются робастными по отношению к статистическим характеристикам внешних возмущений, а H∞ регуляторы излишне перестраховочны и приводят к избыточному расходу энергии управления. Таким образом, преодоление этих недостатков с использованием физически интепретируемых и хорошо алгоритмизуемых методов управления, а также объединение обоих подходов в рамках единой общей теории для новых классов объектов управления является важной и актуальной теоретической задачей. Такие новые классы систем рассматриваются в диссертационной работе. Целями исследования являются разработка и обобщение теории анизотропийного управления на классы алгебро-разностных (дескрипторных) систем, а также систем с параметрической неопределенностью.

Содержание работы, соответствие паспорту специальности.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 277 страницах, содержит 35 иллюстраций, 10 таблиц. Список цитируемой литературы включает 282 наименования.

Во введении обоснована актуальность и значимость исследуемой проблематики, дан обзор литературы, сформулированы цель и задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, приведены данные о структуре и объеме диссертационной работы.

В главе 1 приводятся основные особенности дискретных дескрипторных систем, дано краткое изложение теории анизотропийного анализа линейных систем управления, а также приведены формулировки известных результатов, используемых в диссертационной работе.

В главе 2 приводятся определения H2, H∞ и анизотропийной норм передаточных функций дискретных дескрипторных систем. Решается задача анизотропийного анализа дескриторных систем с точно известными параметрами. Сформулированы основные условия, которые позволяют установить ограниченность анизотропийной нормы дескриторной системы. Также разработаны алгоритмы вычисления анизотропийной нормы.

Глава 3 посвящена решению задач синтеза оптимального и субоптимального управления для дискретных дескрипторных систем. Полученные условия позволяют найти параметры регулятора, который стабилизирует замкнутую систему, делает ее допустимой и доставляет минимум анизотропийной нормы в оптимальном случае или ее ограниченность наперед заданным числом в субоптимальном случае.

В главе 4 рассмотрены дискретные дескрипторные системы с ограниченными по норме параметрическими неопределенностями. Для заданного класса неопределенностей поставлены и решены задачи анизотропийного анализа и синтеза субпотимального управления по

состоянию. Также разработаны алгоритмы, позволяющие оценивать анизотропийную и H∞ нормы системы и находить субоптимальные законы управления по состоянию для желаемого уровня подавления внешних возмущений в том числе с заданным расположением конечных собственных значений внутри единичного круга.

В главе 5 рассматриваются два класса параметрически неопределенных дискретных систем: системы с ограниченными по норме и системы с политопическими неопределенностями. Для обоих классов систем получены методы проверки робастной устойчивости и выполнения условий ограниченности анизотропийной нормы, а также разработаны процедуры синтеза регуляторов как при полном и неполном измерении вектора состояния. Приводятся вычислительные примеры.

Основные результаты работы отражены в автореферате.

Работа соответствует специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)» по пунктам:

п.1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

п.2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

п.4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

п.8. Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем.

Новизна исследования и полученных результатов.

В ходе исследования автором впервые был обобщен анизотропийный подход к подавлению влияния внешних возмущений для класса дискретных дескрипторных систем. Были получены конструктивные методы анализа и синтеза робастных регуляторов с анизотропийным критерием качества, что позволило в рамках единого подхода объединить существующие LQG/H2 и H∞ подходы к управлению дескрипторными системами. Также впервые были решены задачи анизотропийного анализа и синтеза для политопических систем, получены конструктивные условия для анализа и синтеза субоптимальных робастных регуляторов для систем с ограниченными по норме неопределенностями.

Значимость полученных результатов.

Значимость исследований состоит в развитии нового научного направления в теории автоматического управления, заключающегося в применении теоретико-информационного подхода к исследованию новых

классов систем, описываемых алгебро-разностными уравнениями, а также параметрически неопределенных систем. С практической точки зрения, значимость применения полученных научных результатов заключается в разработке помехоустойчивых регуляторов для технических систем автоматического управления, работающих по принципу обратной связи и находящихся под воздействием стохастических внешних возмущений в каналах исполнительных и измерительных устройств.

Обоснованность и достоверность научных результатов.

Достоверность полученных результатов обоснована четкими формальными постановками задачи, приведенными доказательствами лемм и теорем, корректностью проведенных математических преобразований, а также дополнительно проверена результатами математического и компьютерного моделирования, согласующимися с теоретическими результатами.

Публикации, апробация работы и личное участие автора в получении результатов диссертации.

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. Пять статей в рецензируемых изданиях являются сольными.

Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих всероссийских и международных конференциях: XI Международная конференция «Устойчивость и колебания нелинейных систем управления» (конференция Пятницкого), Москва, 2010; 9-th International Conference Process Control 2010, Kouty nad Desnou: Czech Republic, 2010; Конференция «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах» (УТЭОСС-2012, Санкт-Петербург); 11-й Всероссийская школа-конференция молодых ученых «Управление большими системами» (УБС'2014, Арзамас); I, II, IV Всероссийская молодежная летняя школа «Управление, информация и оптимизация», 2009, 2010, 2012; 19th International Conference on Process Control (Strbske Pleso, Slovakia, 2013); 13th European Control Conference (ECC 2014, Strasbourg, France); 1st IFAC Conference on Modelling, Identification and Control of Nonlinear Systems (MICNON 2015); European Control Conference (ECC-2015, Linz, Austria); 2016 International Conference Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems (Pyatnitskiy's Conference); 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED 2017, Valletta, Malta); 21st International Conference on Process Control (Strbske Pleso, Slovakia, 2017); 20th IFAC World Congress,

2017; 26th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED 2018, Zadar, Croatia); 14th International Conference "Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems" (Pyatnitskiy's Conference) (STAB-2018, Moscow); 18th IFAC Symposium on System Identification, SYSID 2018, Stockholm, Sweden; 17th IFAC Workshop on Control Applications of Optimization Yekaterinburg, CAO-2018; 20th International Carpathian Control Conference (ICCC 2019, Krakow-Wieliczka, Poland); 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC 2019); International Workshop Navigation and Motion Control (NMC 2019), 2019, Saint Petersburg, Russia; 2020 European Control Conference (ECC 20, Saint Petersburg, Russia).

Связь с планами научных исследований.

Диссертационное исследование было поддержано в рамках фундаментальных исследований грантами РФФИ (14-08-00069 а, 16-38-00216 мол_а, 17-08-00185 а, 18-38-00076 мол_а), грантом РНФ 18-71-00105, а также в рамках государственной программы финансовой поддержки ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01).

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы предлагается использовать в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах при проектировании цифровых систем автоматического управления.

Недостатки диссертационной работы.

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.

На докладе по диссертации были рассмотрены замечания из отзыва от 24.11.2021 г. одного из авторов анизотропийной теории к.ф.-м.н. И.Г. Владимирова (Fellow / Senior Research Associate, Australian National University, College of Engineering and Computer Science, Canberra, Australia).

На все замечания были представлены подробные комментарии. Присутствующие на заседании были удовлетворены ответами докладчика.

Данный отзыв является повторным. Ранее ведущая организация давала положительный отзыв на диссертацию автора, однако она была снята с рассмотрения по письменному заявлению соискателя ученой степени.

Заключение.

Диссертация Белова Алексея Анатольевича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, имеющее важные теоретическое и прикладное значение. 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 анизотропийного 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).

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, профессором кафедры прикладной кибернетики СПбГУ Н.В. Кузнецовым.

Доклад по диссертации заслушан, отзыв рассмотрен и обсужден на заседании кафедры прикладной кибернетики Санкт-Петербургского государственного университета от «02» июня 2022, протокол № 44/8/16-02-2.

Заведующий кафедрой прикладной кибернетики СПбГУ, профессор, доктор физико-математических наук
Николай Владимирович Кузнецов
тел. +7- 921 333-04-66
e-mail: n.v.kuznetsov@spbu.ru

02.06.2022

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»
Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9.
Телефон (812) 328-97-01
E-mail: spbu@spbu.ru

Подпись руки Кузнецова Николая Владимировича
удостоверяю
Специалист по кадровой работе
«02» 06 2022 г.