

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского государственного
экономического университета
доктор юридических наук



_____ А.В. Егоров

ОТЗЫВ

оппонирующей организации

Белорусского государственного экономического университета

о диссертации Хартовского Вадима Евгеньевича

«Управляемость линейных динамических систем с последействием:

качественный анализ и построение регуляторов»,

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление

1. Актуальность темы диссертационного исследования

В диссертации В.Е. Хартовского рассматриваются линейные автономные дифференциальные системы уравнений запаздывающего и нейтрального типов, а также вполне регулярные дифференциально-алгебраические системы уравнений с последействием. Для указанных систем последовательно исследуются различные понятия управляемости и наблюдаемости, условия существования которых служат теоретической основой для построения динамических регуляторов по принципу обратной связи и оценщиков (наблюдателей) состояний систем управления.

Математическая теория систем уравнений с последействием возникла и развивалась в связи с обширными ее приложениями, например, в задачах стабилизации курса корабля и автоматического управления его движением; в задачах, содержащих информацию о прошлом в таких областях науки, как химия, биология, медицина и экономика; при изучении распределения простых чисел; в теории численности определенных организмов, в моделях «хищник-жертва» и т. д. Важность в приложениях систем уравнений с последействием и большое число интересных и сложных задач в математической теории управления, возникающих в связи с такими системами уравнений, указывают на актуальность их исследования.

Большой вклад в изучение различных структурных свойств систем с последействием внесли А.Д. Мышкис, С.Н. Шиманов, Н.Н. Красовский, R. Bellman, J.K. Hale, С. Cooke, Л.Э. Эльсгольц, А.М. Зверкин, Р. Габасов, Ф.М. Кириллова,

В.Р. Носов, В.Б. Колмановский, А.Б. Куржанский, Н.В. Азбелев, С.К. Коровин, А.В. Ильин, В.М. Марченко, С.А. Минюк, А.В. Метельский, Н.Т. Banks, M.C. Delfor, A.W. Olbrot, A. Halanay, L. Weiss, K. Watanabe и многие другие.

Тема диссертационного исследования, несомненно, актуальна.

2. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

В диссертации В.Е. Хартовского исследуются структурные свойства (управляемость, наблюдаемость, существование регуляторов, наблюдателей и др.) линейных автономных дифференциальных систем запаздывающего и нейтрального типов, а также вполне регулярных дифференциально-алгебраических систем с последствием. Объектом изучения являются системы дифференциальных уравнений с последствием, а предметом исследования – структурные свойства таких систем.

Тема и содержание диссертации В.Е. Хартовского полностью соответствуют отрасли «физико-математические науки» и специальности 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.

Текст диссертации написан математически корректно, изложение логически последовательное. Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

3. Научный вклад соискателя в разработку научной проблемы с оценкой его значимости

Результаты диссертации имеют, прежде всего, теоретический характер и относятся к области фундаментальных исследований. В диссертации В.Е. Хартовского предложен принципиально новый подход к построению регуляторов и наблюдателей для линейных автономных систем с последствием. Этот подход базируется на оригинальной идеи автора диссертации о трехконтурном управлении для систем с последствием. На основе предложенного подхода соискатель получил ряд новых результатов, а именно: достаточные условия существования и метод построения динамических регуляторов, обеспечивающих решения задач успокоения решения, спектральной приводимости, слабой спектральной приводимости, модальной управляемости, слабой модальной управляемости. Также доказаны новые достаточные условия существования и предложен метод построения асимптотических и финитных регуляторов, построены асимптотические наблюдатели для оценки состояний таких систем управления. Кроме того в диссертации предлагается обобщение указанного подхода на линейные дифференциально-алгебраические системы с последствием.

Полученные в диссертации В.Е. Хартовского результаты являются принципиально новыми и в совокупности представляют собой крупный вклад в математику.

ческую теорию управления, содержат оригинальные решения ряда важных задач математической теории управления и наблюдения автономными системами с последствием. Положения, выносимые на защиту, представляют собой новые алгебраические условия разрешимости исследуемых в диссертации задач и описывают условия существования регуляторов и наблюдателей для линейных автономных систем с последствием. Как правило, условия представлены в ранговом спектральном виде.

Результаты диссертации можно использовать для построения регуляторов при моделировании различных физических, экономических, биологических, технологических и др. процессов при помощи автономных систем с последствием. В приложении к диссертации приведен ряд примеров иллюстрирующих разработанные методы построения регуляторов и наблюдателей для исследуемых систем.

Результаты диссертации могут быть использованы при чтении специальных курсов для студентов, магистрантов и аспирантов физико-математических и других специальностей. Имеются акты использования результатов диссертации в учебном процессе учреждений образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» и «Полоцкий государственный университет».

4. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень -

В диссертации В.Е. Хартовского на основе оригинальной конструкции гибридных динамических регуляторов и алгебраических методов их проектирования предложено концептуальное развитие теории построения динамических регуляторов для линейных автономных систем с последствием. Эффективность предложенного подхода подтверждается решением на ее основе ряда задач математической теории управления системами с последствием и возможностью его обобщения на более сложные системы. Полученные результаты являются крупным научным достижением в математической теории управления и представляют собой концептуальное развитие теории построения регуляторов для линейных автономных систем с последствием.

Соискателю В.Е. Хартовскому может быть присуждена ученая степень доктора физико-математических наук по специальности 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление за следующие принципиально новые научно обоснованные результаты:

- необходимые и достаточные условия разрешимости задачи нуль-управляемости, методы построения программных управлений и регуляторов успокоения решений для линейных автономных дифференциально-разностных систем

нейтрального типа и вполне регулярных дифференциально-алгебраических систем с соизмеримыми запаздываниями;

- необходимые и достаточные условия разрешимости задач спектральной приводимости, слабой спектральной приводимости, а также за методы построения регуляторов, приводящих линейные автономные дифференциально-разностные системы нейтрального типа и вполне регулярные дифференциально-алгебраические системы с соизмеримыми запаздываниями к системам с конечным спектром;
- необходимые и достаточные условия разрешимости задач модальной управляемости и слабой модальной управляемости в классах интегральных и дифференциально-разностных регуляторов, а также за методы их построения;
- необходимые и достаточные условия существования и методы синтеза различных типов асимптотических наблюдателей, а также за алгоритмы нахождения асимптотической оценки состояний для линейных автономных дифференциально-разностных систем нейтрального типа;
- необходимые и достаточные условия существования и разработку способов построения для линейных автономных дифференциально-разностных систем нейтрального типа двух типов финитных наблюдателей, которые описываются системами запаздывающего типа с выходом, причем система, определяющая наблюдатель, имеет конечный наперед заданный спектр и только сосредоточенные соизмеримые запаздывания.

5. Замечания по диссертации

1. На страницах 7, 18, 19, 20, 42, 47, 75, 80, 93, 113, 115, 147, 184 основного текста диссертации и на страницах 79, 102, 118, 183, 197, 199 приложения автор допустил опiski и незначительные неточности при изложении материала диссертации.
2. На стр. 11, 12, 33 и др. автор пишет о приведении системы к конечному спектру. Следовало бы писать о приведении системы к *системе* с конечным спектром.
3. На стр. 35 и др. словосочетание асимптотической оценки асимптотически наблюдаемых систем следует записать в виде асимптотической оценки *состояний* асимптотически наблюдаемых систем.
4. На стр. 33 неудачная ссылка на работу Luenberger 1971 года, так как есть работы Wolovich 1968 года.
5. На стр. 41 система Σ не указана. Вместо индекса i следует писать j .
6. На стр. 43 матричная функция $G(\lambda)$, вообще говоря, определяется не однозначным образом. Следовательно, условие (2.11) зависит от матрицы

$G(\lambda)$, т.е. для одних матриц оно может выполняться, а для других может быть нет. В основном тексте диссертации об этом ничего не сказано. Только в приложении к диссертации поясняется факт независимости условия (2.11) от вида матрицы $G(\lambda)$. Это ключевой момент, который относится к основным результатам диссертации. Поэтому его следовало бы указывать в формулировке теорем. Это же замечание относится к теореме 2.10 (стр. 55), теореме 2.14 (стр. 63), к теореме 3.3 (стр. 87) и т.д.

7. Требуются пояснения, почему на стр. 66 взят регулятор вида (3.5). Почему в этот регулятор не входит $x(t)$? Аналогичный вопрос к формуле (3.7) на стр. 67.
8. На стр. 115 автор пишет, что любую дифференциальную систему ... будем называть наблюдателем Здесь следует уточнить, что вектор $z(t)$ наблюдателя системы должен быть той же размерности, что и вектор исходной системы.

Перечисленные замечания не влияют на достоверность и обоснованность основных результатов работы.

6. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Выступление В.Е. Хартовского на расширенном научном семинаре кафедры высшей математики БГЭУ, его участие в международных научных конференциях, а также представленные диссертация и автореферат свидетельствуют, что научная квалификация соискателя В.Е. Хартовского соответствует ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.

По теме диссертации соискателем опубликована единолично написанная монография и 25 статей (из них 10 в соавторстве) в научных журналах в соответствии с пунктом 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь и в зарубежных научных журналах, 7 статей в других научных изданиях, а также 53 тезисов докладов и материалов международных конференций. Индекс Хирша В.Е. Хартовского в базе данных Scopus равен 8.

7. Выводы

Диссертация Хартовского Вадима Евгеньевича представляет собой завершенное самостоятельное квалификационное научное исследование. Она соответствует всем требованиям ВАК Беларуси, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (п.п. 20 – 26 Положе-

ния о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь), содержит принципиально новые научно-обоснованные теоретические результаты, совокупность которых является крупным научным достижением в математической теории управления.

Предлагается присудить В.Е. Хартовскому ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление за концептуальное развитие теории построения регуляторов для линейных автономных дифференциальных систем с последействием, представленное в виде следующих новых результатов:

1) необходимые и достаточные условия разрешимости задачи нуль-управляемости, методы построения программных управлений и регуляторов, реализующих успокоение решения для линейных автономных систем нейтрального типа и линейных автономных вполне регулярных дифференциально-алгебраических систем с соизмеримыми запаздываниями;

2) необходимые и достаточные условия разрешимости задач спектральной приводимости, слабой спектральной приводимости, методы построения регуляторов, приводящих линейные автономные дифференциально-разностные системы нейтрального типа и линейные автономные вполне регулярные дифференциально-алгебраические системы с соизмеримыми запаздываниями к системам с конечным спектром;

3) необходимые и достаточные условия разрешимости задач модальной управляемости, слабой модальной управляемости в классах интегральных и дифференциально-разностных регуляторов, а также методы построения регуляторов указанных типов, обеспечивающих заданный спектр для линейных автономных дифференциально-разностных систем нейтрального типа и линейных автономных вполне регулярных дифференциально-алгебраических систем с соизмеримыми запаздываниями;

4) необходимые и достаточные условия существования и методы построения различных типов асимптотических наблюдателей, а также за алгоритм нахождения асимптотической оценки для линейных автономных дифференциально-разностных систем нейтрального типа;

5) необходимые и достаточные условия существования, методы построения для линейных автономных дифференциально-разностных систем нейтрального типа двух типов финитных наблюдателей, которые описываются системами дифференциальных уравнений запаздывающего типа с выходом и конечным наперед заданным спектром.


В.Е. Хартовский выступил с докладом по результатам его диссертационного исследования на расширенном научном семинаре кафедры высшей математики Белорусского государственного экономического университета. На семинаре состоя-

лось всестороннее обсуждение диссертации. Соискатель дал исчерпывающие ответы на все заданные вопросы.

Отзыв о диссертации Хартовского Вадима Евгеньевича «Управляемость линейных динамических систем с последствием: качественный анализ и построение регуляторов», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление согласно приказу ректора БГЭУ № 125 от 10 февраля 2023 года обсужден на заседании расширенного научного семинара кафедры высшей математики БГЭУ 16 марта 2023 года, протокол № 8.

Отзыв о диссертации В.Е. Хартовского одобрен и принят на основании открытого голосования 13 членов семинара, имеющих ученые степени (4 доктора физико-математических наук и 9 кандидатов физико-математических наук). Результаты голосования: «за» – 13, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Председатель научного семинара
зав. кафедрой высшей математики БГЭУ,
кандидат физико-математических наук,
доцент



Подпись удостоверяю
Начальник отдела кадров
В.В. Косьянчук

Эксперт оппонировавшей организации
профессор кафедры высшей математики БГЭУ
доктор физико-математических наук,
профессор



Подпись удостоверяю
Начальник отдела кадров
А.И. Астровский

Секретарь научного семинара
ассистент кафедры высшей математики БГЭУ


Подпись удостоверяю
Начальник отдела кадров
Э.Д. Евдокименко