

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Овсянникова Дмитрия Александровича

на диссертацию **Алисейко Алексея Николаевича**

на тему «Математические методы анализа и синтеза систем с запаздывающим аргументом», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Актуальность. В диссертационной работе Алисейко А.Н. рассматривается задача анализа и синтеза линейных систем дифференциально-разностных уравнений с запаздыванием. Актуальность работы не вызывает сомнения, поскольку даже малое запаздывание в канале обратной связи может вызвать качественное изменение траектории движения. Кроме того, многие вопросы теории дифференциально-разностных систем ждут своего решения.

В данной диссертации автор построил новые классы систем с последействием, для которых возможно точное нахождение матриц Ляпунова, и разработал метод экспоненциальной оценки решений таких систем. Теоретической основой данного исследования послужила теория прямого метода анализа устойчивости, развитая в Санкт-Петербургском государственном университете.

В своем исследовании Алисейко А.Н. рассматривал системы с распределенным запаздыванием и экспоненциальным ядром. Далее он преобразовывал данные системы к системам с одним запаздыванием и анализировал эти более простые системы уравнений. Для управляемых систем с запаздыванием диссертант разработал алгоритм построения функционалов полного типа, а для систем с кусочно-постоянным ядром он предложил конструктивный метод нахождения матриц Ляпунова. Данные результаты подтверждают **актуальность** проделанной работы.

Структура диссертации. Диссертация содержит введение, шесть глав, заключение, список литературы и два приложения. Объем работы составляет 121 страницу, список литературы включает в себя 69 источников.

Во введении дается подробный экскурс в историю развития дифференциально-разностных систем уравнений со ссылками на источники и обосновывается актуальность и необходимость дальнейшего развития теории таких систем. Формулируются цели и задачи исследования, а также полученные результаты.

В первой главе вводятся основные понятия для систем с запаздывающим аргументом, и излагается метод функционалов Ляпунова-Красовского полного типа для анализа устойчивости рассматриваемых систем. Кроме того, приводится метод построения матрицы Ляпунова для систем с одним сосредоточенным запаздыванием.

Во второй главе исследуется проблема нахождения матриц Ляпунова для систем с распределенным запаздыванием и экспоненциальным ядром. Для этого строится вспомогательная система линейных обыкновенных дифференциальных уравнений без запаздывания с новыми граничными условиями, и доказывается теорема об эквивалентности существования и единственности решения данной системы уравнений и матрицы Ляпунова для исходной системы с распределенным запаздыванием.

В третьей главе автор предлагает метод введения дополнительных переменных с целью нахождения матриц Ляпунова для систем с экспоненциальным ядром. Данный подход упрощает алгоритм построения матрицы Ляпунова, но приводит к системе большей размерности с одним сосредоточенным запаздыванием. Проводится исследование дополнительных свойств этих систем при предположении о выполнении условия Ляпунова и при наличии экспоненциальной устойчивости исходной системы. В конце главы приведен пример возможного нарушения эквивалентности этих систем.

В четвертой главе рассматриваются линейные управляемые системы с запаздыванием в управлении. В случае полной управляемости предлагается функционал Ляпунова-Красовского для экспоненциальной оценки решения. Приводится иллюстративный пример.

Пятая глава посвящена анализу систем с распределенным запаздыванием и кусочно-постоянным ядром. Рассматривается введенная ранее вспомогательная граничная задача с целью построения матрицы Ляпунова. Доказывается соответствующая теорема о единственности решения вспомогательной системы, если существует единственная матрица Ляпунова. Завершающий пример иллюстрирует возможность нахождения критического запаздывания.

В шестой главе анализируется проблема непрерывной зависимости матрицы Ляпунова от правой части системы уравнений с запаздыванием.

Основные научные результаты:

1. Предложен конструктивный метод построения матриц Ляпунова для двух классов систем запаздывающего типа с распределенным запаздыванием.

2. Обоснован метод анализа устойчивости дифференциально-разностных систем запаздывающего типа с распределенным запаздыванием путем сведения к системам с одним сосредоточенным запаздыванием.
3. Разработан метод оценки решений полностью управляемых систем с запаздыванием в управлении, основанный на использовании функционалов Ляпунова-Красовского полного типа.
4. Предложен конструктивный метод приближенного построения матриц Ляпунова для произвольных линейных стационарных систем запаздывающего типа.

Обоснованность научных результатов. Достоверность результатов обеспечивается корректностью поставленной задачи и строгим обоснованием сформулированных научных результатов. Приведенные выводы были апробированы во время выступлений на нескольких международных научных конференциях. При авторстве или соавторстве Алисейко А.Н. опубликовано 5 научных статей по теме диссертации. Основные результаты подробно проиллюстрированы на примерах, а код программ размещен в открытом доступе.

Замечание. В главе 4 предложен алгоритм оценки решений в случае полной управляемости системы (4.1). Можно ли применить этот метод для оценки решений системы (4.1), стабилизированной управлением (4.2), в случае неполной управляемости?

Заключение. Диссертация Алисейко Алексея Николаевича на тему: «Математические методы анализа и синтеза систем с запаздывающим аргументом» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель **Алисейко Алексей Николаевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,
заведующий кафедрой теории систем
управления электрофизической аппаратурой
Санкт-Петербургского государственного университета,

доктор физико-математических наук, профессор

Овсянников Д.А.

27.08.2023