

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Егорова Николая Васильевича 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 работе рассматривается задача анализа и синтеза линейных систем дифференциально-разностных уравнений запаздывающего типа. В данной диссертации делается упор на нахождение новых классов систем с последствием, для которых возможно точное нахождение матриц Ляпунова, и экспоненциальную оценку решений таких систем. Теория метода функционалов Ляпунова-Красовского для систем с запаздыванием была впервые разработана в работах А.П. Жабко и В.Л. Харитонova и послужила теоретической основой для данного исследования.

Автором работы для исследования были выбраны системы с распределенным запаздыванием и экспоненциальным ядром. Основной подход заключался в преобразовании рассматриваемых систем к системам с одним запаздыванием. Для управляемых систем с запаздыванием диссертантом был разработан алгоритм построения функционалов полного типа. Для систем с кусочно-постоянным ядром разработан конструктивный метод нахождения матриц Ляпунова, что подтверждает **актуальность** работы.

Структура диссертации. Диссертация содержит введение, шесть глав, заключение, список литературы и два приложения. Объем работы составляет 234 страницы, 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. Проводиться 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. Приводиться 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. Конструктивный метод нахождения матриц Ляпунова для систем запаздывающего типа с распределенным запаздыванием в случае экспоненциального ядра или кусочно-постоянного ядра.
2. Метод анализа устойчивости систем с распределенным запаздыванием путем сведения к системам с одним запаздыванием.
3. Построение функционалов Ляпунова-Красовского полного типа для полностью управляемых систем с запаздыванием в управлении.
4. Конструктивный метод приближенного построения матриц Ляпунова для произвольных линейных стационарных систем запаздывающего типа.

Обоснованность научных результатов. Достоверность результатов обеспечивается корректностью поставленной задачи и правильным использованием научных методов для достижения результата. 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 рассмотрен случай полной управляемости системы (4.1). При каких условиях система (4.1) стабилизируема 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.

Председатель диссертационного совета,
заведующий кафедрой моделирования
электромеханических и компьютерных систем
Санкт-Петербургского государственного университета,
доктор физико-математических наук, профессор



Егоров Н.В.

28.08.2023