

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Александрова Александра Юрьевича
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

Диссертация Алисейко А.Н. посвящена развитию методов построения функционалов Ляпунова-Красовского полного типа для линейных систем с запаздыванием. Такие функционалы позволяют не только делать выводы об устойчивости систем, но и находить оценки времени переходных процессов и границ робастной устойчивости. Исследование устойчивости систем с запаздыванием представляет собой актуальную проблему современной теории управления. В последние годы интерес к ней значительно возрос в связи с появлением задач управления мультиагентными и киберфизическими системами. Хорошо известно, что запаздывание может существенно влиять на устойчивость и другие динамические характеристики систем. Таким образом, тема диссертации, безусловно, актуальна, и разработанные методы могут найти широкие приложения для решения практических задач.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, содержащего 69 наименований, и двух приложений. Материалы диссертации изложены на 121 странице текста.

В первой главе приводятся основные понятия, определения и теоремы, используемые в диссертации.

Вторая глава посвящена проблеме построения матриц Ляпунова для линейных систем с распределенным запаздыванием и экспоненциальным ядром. Для решения этой задачи строится вспомогательная линейная система дифференциальных уравнений без запаздывания. Основным результатом данной главы состоит в том, что автор предложил новую граничную задачу для вспомогательной системы. Это позволило однозначно определить матрицы Ляпунова для систем, удовлетворяющих условию Ляпунова, проверка которого сводится к невырожденности некоторой системы линейных алгебраических уравнений.

В третьей главе проводится анализ подхода к построению матриц Ляпунова для систем с распределенным запаздыванием и экспоненциальным ядром путем сведения их к системам с одним запаздыванием. Показано, что граничная задача для расширенной системы с одним запаздыванием имеет большую размерность, чем граничная задача для исходной системы. Кроме того, в некоторых случаях расширенная система может не иметь матрицы Ляпунова, даже если для исходной системы выполнено условие Ляпунова.

В четвертой главе исследуются линейные управляемые системы с запаздыванием в канале обратной связи. К этим системам применяется известный способ построения динамического регулятора. Далее для полученных замкнутых систем строятся функционалы Ляпунова-Красовского полного типа, с помощью которых выводятся экспоненциальные оценки решений.

Пятая глава посвящена разработке способов построения матриц Ляпунова для линейных систем с распределенным запаздыванием и кусочно-постоянным ядром. Известные подходы, полученные ранее для систем с одним запаздыванием, были распространены на изучаемый класс систем. Доказано, что единственность матриц Ляпунова эквивалентна единственности решения предложенной вспомогательной граничной задачи.

В шестой главе рассматриваются линейные стационарные системы с ограниченным запаздыванием, правые части которых описываются интегралами Стильтjesа. Исследуется проблема нахождения матриц Ляпунова для систем такого рода. Изучается вопрос о

непрерывной зависимости матрицы Ляпунова от правой части системы. Доказано, что при определенных ограничениях из сходимости ядер правых частей систем следует сходимость соответствующих матриц Ляпунова. Этот результат может быть использован в качестве основы для построения приближенных методов нахождения матриц Ляпунова.

Таким образом, диссертация А.Н. Алисейко является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей прикладное значение.

Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается корректностью применяемого математического аппарата, а также результатами численного моделирования, проведенного для ряда иллюстративных примеров. Стиль изложения материала достаточно ясный и четкий.

По работе имеются следующие замечания:

1. Второй пункт Положений, выносимых на защиту, сформулирован недостаточно четко. Говорится об «исследовании подхода к анализу устойчивости систем с распределенным запаздыванием путем их преобразования к системам с одним запаздыванием». В такой формулировке непонятно, в чем именно состоит результат и что выносится на защиту.
2. В формулировке теоремы 1.6 используется функция $H(s)$, но не поясняется, что это за функция.
3. На странице 44 в первых двух строках сверху следует пояснить выражение «.. а приведенный в ней график компонент матрицы Ляпунова не воспроизводим».
4. В третьей главе рассматривался подход к анализу устойчивости и построению матриц Ляпунова для систем с распределенным запаздыванием и экспоненциальным ядром путем сведения их к системам с одним запаздыванием. На основе проведенного исследования в Заключение делается следующий вывод: «Таким образом, следует признать, что вычисление матриц Ляпунова путем преобразования системы к одному запаздыванию нельзя рекомендовать в силу меньшей области применения и больших вычислительных затрат». Но тогда неясно, в чем состоит результат этой главы. Кроме того, сделанный вывод представляется недостаточно обоснованным, так как автором не получено никаких количественных оценок вычислительных затрат, а результаты продемонстрированы только на двух довольно простых иллюстративных примерах.
5. В Замечании 4.3 утверждается: «В статье [55] для замкнутой системы (4.1), (4.2) рассматриваются функционалы Ляпунова специального вида. Стоит отметить, что предложенный в работе [55] функционал имеет весьма специфическую структуру. Построенный в настоящей главе функционал, напротив, использует хорошо проработанную теорию функционалов Ляпунова-Красовского полного типа». Однако в работе не приводится никакого сравнения применения указанных двух подходов к построению функционалов. Поэтому сделанное утверждение представляется необоснованным. Кроме того, в Заключение говорится о том, что в четвертой главе «был построен функционал, применимый для анализа устойчивости системы, замкнутой исходным управлением». Однако автор применяет динамический регулятор, предложенный в работе [59], о котором уже известно, что он стабилизирует систему. Представляется, что основными результатами главы 4 являются не анализ устойчивости замкнутой системы, а построенный функционал и полученные с его помощью экспоненциальные оценки решений.
6. В тексте диссертации приведены только иллюстративные примеры. Было бы целесообразно продемонстрировать эффективность разработанных подходов на примере какой-либо прикладной задачи.
7. В тексте работы имеется ряд неточностей, опечаток и неудачных выражений. Однако они не влияют на справедливость установленных результатов.

Новизна представленного исследования заключается в развитии методов построения функционалов Ляпунова-Красовского полного типа, расширении классов систем, для которых можно построить матрицы Ляпунова, и применении разработанных подходов в задачах нахождения оценок решений и построения стабилизирующих управлений для систем с запаздыванием.

По теме диссертации Алисейко А.Н. опубликовал пять статей в ведущих российских и международных журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science Core Collection. Кроме того, им были представлены доклады на двух международных и одной всероссийской конференции.

Основные результаты, приведенные в работе и вынесенные на защиту, являются новыми и достаточно полно отражены в научных публикациях.

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
Доктор физ.-мат. наук, профессор,
Профессор кафедры УМБС СПбГУ

Александров А.Ю.



14.08.2023