



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**ИНСТИТУТ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ
ИМ. А.К. АЙЛАМАЗЯНА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

152021, Россия, Ярославская область, Переславский район,
село Вельское, улица Петра Первого, дом 4 «а», ИПС им. А.К. Айламазяна РАН
ОГРН 1027601052225, ИНН 7622004420, КПП 762201001, ОКПО 04832915
Тел./Факс: +7(4852)69-52-28 e-mail: psi@botik.ru <http://www.psi-ras.ru/>

от 28. 08. 2025 № 11609/2715-182
на № _____ от _____

Утверждаю

И.о. директора,

к.т.н.

«28» августа 2025г.



И.П. Тищенко

Отзыв

ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук»
на диссертационную работу Галяева Ивана Андреевича
«Спектральные методы разложения грамианов для управления линейными и билинейными системами с приложением в электроэнергетике»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность темы диссертационной работы

Спектральные методы и алгоритмы решения уравнений Ляпунова широко применяются при решении задач управления сложными техническими объектами. В диссертационной работе Галяева И.А. разрабатываются методы и алгоритмы решения уравнений Ляпунова для повышения эффективности управления и мониторинга состояния многомерных динамических систем. Автор предлагает количественные энергетические критерии управляемости, наблюдаемости, качества управления и аппроксимации, что позволяет уточнить существующие методы. Таким образом тема диссертационного актуальна.

Структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения. Полный объем диссертации составляет 126 страниц с 6 рисунками. Список литературы содержит 135 наименований.

Во введении обоснована актуальность и степень разработанности темы работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены основные результаты работы, определены их научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе рассматриваются спектральные методы решения уравнения Ляпунова для линейных динамических систем. Разработан метод и алгоритм получения решения уравнения Ляпунова в виде произведения Адамара, при этом структура матрицы решения определяется в виде матрицы Сяо. Новые результаты получены в виде спектральных и сингулярных разложений обратных грамианов управляемости и наблюдаемости. Разработан метод получения сепарабельных спектральных разложений смешанных грамианов для неустойчивых непрерывных систем. Такие спектральные разложения грамианов управляемости и обратных грамианов позволяют определить составляющие энергии, соответствующие характерным собственным числам матриц грамианов, которые определяют основной вклад в величину энергетических функционалов достижимости и устойчивости.

Во второй главе рассматриваются спектральные методы решения обобщенного уравнения Ляпунова для билинейных динамических систем. Разработан метод и получены алгоритмы решения обобщенного уравнения Ляпунова для класса непрерывных нестационарных билинейных систем на основе метода грамианов и итеративного метода построения решения. Разработан новый метод и алгоритм поэлементного аналитического вычисления матриц решения обобщенного уравнения Ляпунова для билинейных систем в диагонализированной канонической форме. Установлены новые достаточные условия ВІВО-устойчивости непрерывной билинейной системы. Предложены новые алгоритмы и методология построения спектрального итеративного решения непрерывного билинейного уравнения с помощью частотных методов, основанных на прямом преобразовании Лапласа. Получена оценка влияния спектральных разложения решений по спектру матрицы динамики линейной части, а также спектру и вычетам изображений воздействий на устойчивость и динамические характеристики билинейной системы. Получены новые достаточные условия ВІВО-устойчивости билинейных систем и предложен новый метод получения установившихся значений их решений.

В третьей главе рассматриваются адаптивные методы и алгоритмы настройки системных регуляторов в ЭЭС. Предложен метод синтеза алгоритмов настройки системных регуляторов для электроэнергетических систем высокой размерности, в котором используются полученные в работе разложения. Разработан метод и алгоритмы упрощения моделей узлов графа ЭЭС с использованием аппарата передаточных функций для анализа и синтеза системных регуляторов для ЭЭС высокой размерности.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

Диссертация написана грамотным языком, соблюдена четкая структура изложения, приведены строгие математические доказательства полученных результатов. Результаты диссертационной работы изложены в 8 публикациях, в том числе 4 в изданиях, индексируемых в международных базах данных, приравненных к журналам категории К1 Перечня ВАК и 4 публикаций – в сборниках трудов международных и всероссийских конференций.

Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации.

Основные положения диссертационного исследования

В диссертационной работе получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

- 1) Новые условия устойчивости линейных систем с учетом нелинейных эффектов взаимодействия мод и инвариантные представления энергетических функционалов на основе методов спектральных и сингулярных разложений грамианов управляемости и наблюдаемости.
- 2) Метод получения сепарабельных спектральных разложений грамианов управляемости для неустойчивых динамических систем. Методы получения спектральных разложений грамианов управляемости и обратных грамианов, позволяющих аналитически вычислять составляющие энергии, соответствующие характерным собственным числам матриц грамианов, определяющие основной вклад в величину энергетических функционалов достижимости и устойчивости.
- 3) Достаточные условия BIBO-устойчивости непрерывной нестационарной билинейной системы на основе метода решения обобщенного уравнения Ляпунова в виде суммы матриц субграмианов, соответствующих парным комбинациям собственных чисел матрицы динамики линейной части.
- 4) Метод и алгоритм упрощения моделей узлов графа ЭЭС с использованием аппарата передаточных функций для анализа и синтеза регуляторов для ЭЭС.

Соответствие паспорту специальности

Научные результаты диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» по следующим пунктам:

1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.
3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

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

Теоретическая значимость и практическая значимость

Диссертационное исследование направлено на развитие теории управления сложными динамическими системами, однако работа обладает не только теоретической значимостью, но и практической: полученные результаты могут быть применены при исследовании транспортных, социальных и биологических динамических систем.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Спектральные методы эффективно решают задачи, возникающие в электроэнергетических системах: задачу выбора места размещения и управления регуляторами в системах высокой размерности, задачу проектирования систем энергосберегающего управления, в задачах модального управления для построения наблюдателя пониженного порядка. Полученные результаты рекомендуется применить для улучшения имеющихся решений в представленных выше задачах, а также расширить их применение на широкий класс сложных технических систем в робототехнике и энергетике.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации отсутствует связь между классическим критерием Калмана управляемости и наблюдаемости системы и грамианами управляемости и наблюдаемости.

2. Размерности векторов управления и выхода в системе (1.1) совпадают, хотя теоремы справедливы и для разной размерности векторов.

Сделанные замечания не влияют на значимость работы. Общая оценка работы является положительной.

Заключение

Диссертационная работа Галяева И.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой поставлены и решены актуальные задачи. Цель диссертационного исследования достигнута, результаты имеют высокую теоретическую и практическую значимость.

Исходя из вышеизложенного, диссертационная работа Галяева И.А. соответствует паспорту специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» и соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Галяев И.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на научном семинаре Исследовательского центра процессов управления, от 28 августа 2025 г.

Руководитель Исследовательского
центра процессов управления
ИПС им. А.К. Айламазяна РАН,
доктор физико-математических наук



Сачков Юрий Леонидович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт
программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук»

Исследовательский центр процессов управления

Адрес: 152021, Ярославская область, Переславский район, с. Веськово, ул. Петра
Первого, д.4 «а».

Официальный сайт: <http://www.psi-ras.ru/>

Телефон: (4852) 695-228

E-mail: psi@botik.ru