

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Галяева Ивана Андреевича
на тему «Спектральные методы разложения грамианов для управления линейными и
билинейными системами с приложением в электроэнергетике»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации,
статистика»

Установления структурных свойств динамических систем таких как устойчивость, управляемость, наблюдаемость является центральной проблемой в теории систем. Наличие этих свойств у объектов различной физической природы позволяет результативно синтезировать алгоритмы управления и организовывать системы наблюдения за состоянием объектов. Так отсутствие необходимых и достаточных условий управляемости для изучаемой системы означает невозможность корректно решать ряд задач управления. Наиболее известные критерии управляемости и наблюдаемости для систем управления – это алгебраические критерии Калмана для автономных линейных систем с конечномерным вектором состояния и без ограничений на управление. Для общих нелинейных систем, в частности билинейных систем, исчерпывающих необходимых и достаточных условий управляемости, к настоящему времени не имеется.

Целью диссертационного исследования И.А. Галяева является разработка методов и алгоритмов решения уравнений Ляпунова для повышения эффективности управления и мониторинга состояния многомерных линейных и билинейных динамических систем, в частности систем электроэнергетики.

К основным задачам исследований следует отнести:

1. развитие структурных методов решения матричных уравнений Ляпунова и получения спектральных и сингулярных разложений грамианов управляемости и наблюдаемости линейной стационарной системы;
2. развитие спектральных методов решения обобщенных уравнений Ляпунова и получение достаточных условий BIBO-устойчивости непрерывных билинейных систем;
3. применение разработанных методов для модели узлов графа гипотетической электроэнергетической системы для анализа и синтеза стабилизирующих регуляторов.

Основными результатами исследования являются:

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 линейных 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. Новые 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 и обратных грамианов, позволяющих аналитически вычислять составляющие энергии, соответствующие характерным собственным числам матриц грамианов.

4. Разработан метод решения обобщенного уравнения Ляпунова для непрерывных нестационарных билинейных систем в виде суммы матриц субграмианов, соответствующих парным комбинациям собственных чисел матрицы динамики линейной части, основанный на сходимости числовых последовательностей элементов решения билинейного уравнения во временной и частотной области.

5. Предложены метод и алгоритм упрощения моделей узлов графа ЭЭС с использованием аппарата передаточных функций с оценкой риска потери устойчивости системы при авторезонансе.

Научная новизна, представленных в диссертации результатов исследований, определена перечисленными выше позициями.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы неоднократно докладывались на научных конференциях различного уровня в России и за рубежом.

Основными публикациями, в которых освещены результаты исследований, представленные в диссертации, являются статьи в журнале Автоматика и телемеханика и материалы конференций, опубликованных совместно с научным руководителем аспиранта. Самостоятельные публикации аспиранта отсутствуют.

Судя по автореферату, материал диссертации хорошо структурирован, теоремы и определения дают ясное понимание математических результатов исследований.

Краткий обзор материалов диссертации, представленных в автореферате.

В разделе «Степень разработанности научной темы» дан достаточно обширный исторический обзор состояния проблемы классических методов анализа структурных свойств непрерывных динамических систем управления. За прошедшие более чем 150 лет история, начинавшаяся с определения устойчивости по Ляпунову, обогащалась работами ученых различных стран мира, и в настоящее время математическая теория систем содержит различные, но связанные между собой разделы: Теория устойчивости, наблюдаемости и управляемости линейных и нелинейных систем, Теория устойчивости движения, Теория устойчивости систем по первому приближению, Теория управления нестационарных систем с неполной информацией о состоянии, параметрах и взаимодействием со средой. Свойства управляемости, устойчивости, достижимости и наблюдаемости играют важную роль в задачах управления, в том числе стабилизации неустойчивых систем с помощью обратной связи, при идентификации и прогнозе динамики систем, при проектировании сенсорных сетей. Как следует из автореферата, в диссертации рассматриваются задачи устойчивости, наблюдаемости и управляемости линейными и билинейными непрерывными линейными объектами. Эти задачи требуют эффективных решений матричных уравнений Ляпунова и некоторых стационарных и нестационарных уравнений связанных с исследованием структурных свойств объектов. Следует отметить, что за последние 10-15 лет разработаны достаточно конструктивные методы решения подобных задач с использованием вычислительных методов.

Замечание:

Обзор состояния проблемы и задач исследования структурных свойств объектов не содержит описание современных методов решения матричных уравнений грамианов, получаемых с использованием программных средств вычислительной техники.

Первая глава посвящена развитию спектральных методов решения уравнения Ляпунова для многосвязных непрерывных линейных систем со многими входами и многими выходами. Разработанный метод и алгоритм аналитического вычисления решения уравнения Ляпунова позволяет вычислять элементы соответствующих грамианов управляемости и наблюдаемости в виде произведений соответствующих элементов матриц мультипликаторов и матрицы, являющейся суммой всевозможных произведений матриц числителя матричной передаточной функции системы. Новые результаты получены в виде спектральных и сингулярных разложений обратных грамианов управляемости и наблюдаемости.

Замечания:

1. *Представление свойств системы (1), в виде соотношений ее параметров в виде (2), (3) (уравнения Ляпунова) не является «преобразованием системы».*

2. Теорема 1.2. «Разложение не зависит от выбора невырожденной матрицы линейных преобразований координат системы. Два основных фактора влияют на значение риска потери устойчивости J ». *Это говорит о том, что «используемые преобразования» имеют нелинейный характер, и они не могут адекватно представлять характеристики системы.*

3. Теорема 1.6. «Для устойчивой системы (1) с ненулевыми начальными условиями справедливы и эквивалентны...». *Если для системы (1) выполняются условия (2), то линейная система устойчива при любых начальных условиях. Сформулированные в работе условия устойчивости для таких систем являются необходимыми и достаточными.*

Во второй главе разработан метод и получены алгоритмы решения обобщенного уравнения Ляпунова для класса непрерывных нестационарных билинейных систем на основе метода грамианов и итеративного метода построения решения. Получено спектральное разложение грамианов управляемости и наблюдаемости нестационарной билинейной системы в виде суммы матриц субграмианов, соответствующих парным комбинациям собственных чисел матрицы динамики линейной части. Разработан новый метод и алгоритм поэлементного получения матриц решения ОУЛ для билинейных систем в диагональной канонической форме. Установлены новые достаточные условия абсолютной и равномерной сходимости элементов матриц решений для класса билинейных нестационарных систем.

Замечания:

1. Теорема 2.1 об итерационной процедуре поиска решения уравнения (17). *Нет информации о начальном состоянии P_1 итерационной процедуры, о ее устойчивом процессе и моменте остановки процесса.*

2. *Условие (20) определяет значение обратной матрицы $T^{-1} = [u_1 u_2 \dots u_n]$, но $u \in R^m$, обратима ли эта матрица?*

3. *Вторая глава посвящена рассмотрению билинейных систем, поэтому неясно окончание этого раздела о необходимых и достаточных условиях устойчивости линейных систем. Выполнение условий теоремы 2.1 обеспечивают необходимые условия*

устойчивости системы (16), выполнение же достаточных условий обеспечивается выбираемыми начальными условиями x_0 .

В третьей главе, посвященной развитию адаптивных методов и алгоритмов настройки системных регуляторов в ЭЭС, предложен метод синтеза алгоритмов настройки системных регуляторов для электроэнергетических систем высокой размерности. Метод содержит полученные в работе разложения. В действительности решается задача алгоритмического конструирования адаптивной настройки двух параметров линейной системы второго порядка на основе известного материала о самонастраивающихся системах. При этом используется не динамическая модель состояния объекта, а его передаточная функция, поэтому отследить динамику и качество перестройки параметров невозможно.

Замечание:

Даже при успешной работе цепей оптимизации, рассмотренной линейной системы с алгоритмом самонастройки, не ясно будет ли устойчива большая система, собранная из одиночных адаптивных линейных подсистем. Кроме того, «большая система с неполной информацией о параметрах» может оказаться нелинейной.

В последнем разделе автореферата обобщены результаты исследований. Главными блоками перечня результатов являются:

1. Развита структурные методы решения матричных уравнений Ляпунова и получены спектральные и сингулярные разложения грамианов управляемости и наблюдаемости линейной стационарной системы.
2. Развита спектральные методы решения обобщенных уравнений Ляпунова и получены достаточные условия BIBO-устойчивости непрерывных билинейных систем на основе метода грамианов и итеративного метода построения решения.
3. Разработанные методы применены на модели узлов графа ЭЭС для анализа и синтеза системных регуляторов.

Отдельные замечания по диссертационной работе помещены в тексте отзыва на автореферат. Эти замечания не снижают высокой научной и практической ценности представленных в автореферате исследований.

Заключение отзыва на автореферат диссертации Галяева Ивана Андреевича на тему «Спектральные методы разложения грамианов для управления линейными и билинейными системами с приложением в электроэнергетике», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика». Содержание рассматриваемого автореферата свидетельствует о том, что диссертационная работа является законченным научным трудом, содержит актуальные научные результаты, соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Я, Афанасьев Валерий Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Афанасьев Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор.

Почтовый адрес: 123458, г. Москва, Таллинская ул., д. 34, кабинет. 429

Телефон: +7 (495) 772-95 90

Адрес электронной почты: afanval@mail.ru

Организация — место работы: Московский институт электроники и математики
им. А. Н. Тихонова — Национальный исследовательский университет Высшая школа
экономики

Должность: Профессор-исследователь

В.Н. Афанасьев

