



ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Калининой Елизаветы Александровны на тему «**Применение алгебраических методов для анализа сложных систем**», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (по прикладной математике и процессам управления).

Теория сложных систем является в настоящее время одной из интенсивно развивающихся перспективных областей современной прикладной математики. Это связано с использованием сложных систем для моделирования процессов во многих областях науки, таких как физика, химия, биология, информатика, социология и др. Диссертация Калининой Елизаветы Александровны посвящена разработке эффективных алгебраических методов исследования поведения и свойств сложных систем, зависящих от параметров. Большое внимание в работе уделяется методам локализации решений систем алгебраических уравнений и собственных чисел матриц (этому посвящены первые две главы работы). Задачи, связанные со спектром матрицы, по сути являются обобщением аналогичных задач о корнях полинома, однако во многих случаях они могут быть решены более просто, без построения характеристического полинома. Рассматриваемые методы исключительно важны в задачах робастного управления и устойчивости, которые возникают во многих случаях при изучении нелинейных динамических систем, описываемых системами обыкновенных дифференциальных уравнений. Численные методы при решении данных задач оказываются малоэффективными, а известные символьные алгоритмы требуют для своего применения больших вычислительных мощностей и не всегда дают значимый результат. Поэтому разработка эффективных символьных методов остается весьма актуальной. К исследованию сложных динамических систем, структура которых может быть описана с помощью графов (такими являются, например, гибридные системы), в диссертационной работе применены методы линейной алгебры, которые позволяют получить новые результаты. Также предложен высокоточный метод численного решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Данный метод может быть применен для исследования поведения сложных

систем (в частности, биологических) в режиме реального времени. Таким образом, актуальность работы несомненна в связи с тем, что разработанные в ней методы применимы для широкого анализа управляемых физических, биологических, химических и др. систем, интерес к которым постоянно возрастает.

Представленная работа изложена на 199 страницах и состоит из четырех глав и списка литературы, насчитывающего 187 наименований.

Научная новизна диссертационной работы заключается:

1. В разработке алгоритма проверки робастных устойчивости и D-устойчивости семейства вещественных полиномов (для случая полиномиальной зависимости коэффициентов полиномов от параметров, областью изменения которых является многомерный вещественный параллелепипед).
2. В создании алгоритмов определения структуры нормальной формы Жордана матрицы (алгоритма, позволяющего найти максимальный порядок клетки Жордана матрицы и собственных чисел, которым соответствуют клетки максимального порядка, и алгоритма нахождения кратных собственных чисел матрицы). В результате работы данных алгоритмов получаются полиномы, корнями которых являются собственные числа матрицы, соответствующие максимальным клеткам Жордана, и все кратные собственные числа матрицы соответственно. Важной особенностью предложенных алгоритмов является то, что они не требуют построения характеристических полиномов матриц, что само по себе является вычислительно затратной задачей.
3. В построении алгоритма нахождения общих собственных чисел двух матриц с комплексными элементами, также не требующего построения характеристических полиномов рассматриваемых матриц. Результатом работы алгоритма является полином, корнями которого являются все общие собственные числа рассматриваемых матриц.
4. В разработке матричного алгоритма распознавания реберного графа и построения его корневого графа.
5. В создании высокоточного алгоритма численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений в арифметике с плавающей точкой. Важной особенностью алгоритма является то, что он учитывает не только погрешность метода, но и ошибки округления, возникающие при вычислениях на компьютере.

В работе имеются численные примеры, иллюстрирующие работу всех предложенных алгоритмов.

Представленные в работе результаты являются новыми, достоверными и строго доказанными с помощью методов системного анализа, алгебры и теории графов. Теоретические результаты согласуются с результатами численных экспериментов. Частные следствия представленных в диссертации результатов коррелируют с результатами, полученными другими исследователями.

Теоретическим достижением является существенный вклад работы в развитие алгебраического подхода к анализу сложных систем, моделируемых нелинейными системами обыкновенных дифференциальных уравнений.

Практическая ценность результатов диссертации определяется возможностью сократить время вычислений, повысить достоверность и точность расчетов, применимостью разработанных алгоритмов при параметрическом анализе и синтезе систем управления. В частности, предложенный автором алгоритм численного интегрирования систем ОДУ является одним из немногих, практически применимых для моделирования поведения биологических систем в режиме реального времени.

Достоверность полученных результатов подтверждают их публикации в 20 печатных работах, в том числе в 12 статьях в отечественных и международных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, а также их представление на обсуждение на 10 всероссийских и международных научных конференциях.

Замечания по диссертационной работе:

1. Число обусловленности Гёльдера вычисляется для каждого кратного собственного числа матрицы. В работе (глава 2) предлагается нахождение лишь максимального порядка клетки Жордана, соответствующей кратному собственному числу. Соответственно, для кратных собственных чисел, которым соответствуют клетки Жордана меньших размерностей, оценка собственных чисел возмущенной матрицы получится менее точной.
2. Для приведенного в главе 3 алгоритма распознавания реберного графа и построения его корневого графа приведено мало примеров работы алгоритма. Хотелось бы видеть также сравнение результатов работы предложенного алгоритма с известными алгоритмами.
3. Не сделан четкий вывод о корнях полинома в примере с направляемым автобусом в главе 1.
4. Текст диссертации в целом хорошо оформлен, однако встречаются некоторые стилистические погрешности. В частности, не все рисунки имеют подписи (например, рисунки на стр. 129 и 130), через X обозначены как множество в лемме Бёрнсайда, так и матрица в п. 2.2.1, нумерация рисунков в главе 4 отлична от нумерации во всех остальных главах.

Представленные замечания не снижают общего хорошего впечатления от работы, являющейся завершенным научным исследованием на актуальную тему, в котором получены принципиально новые результаты, связанные с вопросами поведения сложных систем в зависимости от параметров. Разработанные в диссертации теоретические положения можно квалифицировать как крупное научное достижение.

Диссертация Калининой Елизаветы Александровны на тему: «Применение алгебраических методов для анализа алгебраических систем» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Калинина Елизавета Александровна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01. – системный анализ, управление и обработка информации (по прикладной математике и процессам управления).

Член диссертационного совета

Доктор наук, профессор,

ведущий научный сотрудник Института Экспериментальной
Физики Словацкой Академии Наук



Гнатич Михал

Institute of Experimental Physics Slovak Academy
of Sciences (IEP SAS), Watsonova 47, Košice,

Дата: 26.07.2018

