

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ахунова Романа Раисовича «Алгоритмы и комплекс программ для итерационного решения систем линейных алгебраических уравнений при анализе полосковых структур методом моментов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертационная работа Р.Р. Ахунова посвящена вопросам математического моделирования геометрических и электрофизических параметров структур радиоэлектронных устройств. Актуальность темы диссертации обусловлена затратностью натуральных испытаний и экспериментальных исследований, особенно в области электромагнитной совместимости элементов и устройств. Особенно критичным является тщательное моделирование при разработке различных систем специального назначения. На текущий момент метод моментов или его аналоги являются мощным инструментом моделирования, но его применение для больших структур требует значительных вычислительных затрат. В частности, многие методы в конечном итоге сводятся к решению плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений высокого порядка. Значительное уменьшение вычислительных затрат на решение систем уравнений достигается за счет использования итерационных способов. Следовательно, актуальны исследования, направленные на различные усовершенствования решения систем линейных алгебраических уравнений.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка литературы из 164 наименований, приложения на 53 страницах, в том числе трёх таблиц. Объём диссертации без приложений – 146 страниц, в том числе 64 рисунка и 22 таблицы.

В первой главе диссертации сделан обзор актуальных задач моделирования геометрических и электрофизических параметров структур радиоэлектронных устройств. Проведен анализ методов решения плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений, форматов хранения матриц, методов многократного решения плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений.

Во второй главе автором проведён сравнительный анализ форматов хранения разреженных матриц и показано, что наилучшим по критерию экономии памяти является формат хранения разреженных матриц CSR. Представлены разработанные алгоритмы $ILU(0)$ -разложения с использованием данного формата хранения разреженных матриц. Проведено сравнение результатов решений систем линейных алгебраических уравнений, полученных с помощью разработанных автором алгоритмов, и показавшее хорошее согласие с результатами, полученными другими авторами. Проведено большое число вычислительных экспериментов, показавших эффективность предложенных алгоритмов.

Алгоритмы многократного решения систем линейных алгебраических уравнений с изменяющейся матрицей итерационными методами с предобуславливанием исследованы в третьей главе. Эти алгоритмы позволили получить решения систем линейных алгебраических уравнений быстрее, чем известные способы. Предложена математическая модель с дополнительными параметрами – выбором очередности решения и матрицы предобуславливания, что позволило уменьшить время решения ряда систем линейных алгебраических уравнений. Эффективность предложенных алгоритмов подтвердили результаты вычислительных экспериментов.

В четвёртом разделе приведены схемы разработанного комплекса программ, а в приложении представлены исходные коды программ, разработанных на основе алгоритмов, предложенных в главах 2 и 3 и приведены расчёты сложности алгоритмов.

Материалы исследований опубликованы в 37 работах. Это монография, три статьи в журналах из перечня ВАК, 10 статей в журналах более высокого уровня, восемь докладов в трудах конференций, 15 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Научная новизна результатов диссертации состоит в том что:

- разработаны алгоритмы $ILU(0)$ -разложения с учётом особенностей разреженного строчного формата хранения разреженных матриц;
- многократного решения систем линейных алгебраических уравнений итерационным методом для анализа полосковых структур с адаптивным реформированием предобуславливателя;
- проведены исследования процесса решения систем линейных алгебраических уравнений с использованием предложенного алгоритма $ILU(0)$ -разложения;

- процесса многократного решения систем линейных алгебраических уравнений итерационным методом с выбором вектора решения предыдущей системы линейных алгебраических уравнений в качестве начального приближения текущей;

- процесса многократного решения систем линейных алгебраических уравнений с использованием предложенного алгоритма с адаптивным переформированием предобусловливателя.

Теоретическая значимость результатов диссертации Р.Р. Ахунова характеризуется:

- теоретически найденными оценками максимального ускорения многократного решения систем линейных алгебраических уравнений;

- полученными оценками максимального сжатия форматов хранения разреженных матриц;

- соотношениями оценки ускорения многократного решения систем линейных алгебраических уравнений итерационным методом в сравнении с прямым методом;

- доказанной теоремой о существовании минимума среднеарифметического времени решения систем линейных алгебраических уравнений;

- полученными оценками сложности алгоритмов LU-разложения, стабилизированного метода бисопряженных градиентов и квадратичного метода сопряженных градиентов, учитывающими программную реализацию.

Практическая значимость работы весьма высокая, что подтверждается:

- уменьшением вычислительных затрат на анализ устройств методом моментов;

- программной реализацией алгоритмов LU(0)-разложения и многократного решения систем линейных алгебраических уравнений с адаптивным переформированием предобусловливателя;

- полученными оценками возможного ускорения многократного решения систем линейных алгебраических уравнений, позволившими выбирать метод решения;

- полученными оценками сложности алгоритмов LU-разложения, стабилизированного метода бисопряженных градиентов и квадратичного метода сопряженных градиентов.

В конце каждой главы представлены основные выводы по результатам исследований. Обоснованность научных положений и выводов подтверждается теоретическими исследованиями и доказательством теорем. Исследования и создание новых алгоритмов выполнены с применением адекватных теоретических подходов. Выводы подтверждаются результатами многочисленных компьютерных экспериментов и простых аналитических оценок. Они позволяют получить доказанные рекомендации по ускорению решения систем линейных алгебраических уравнений.

Достоверность результатов подтверждается вычислительными экспериментами, которые согласованы с теоретическими оценками. Достоверность результатов также доказывается воспроизводимостью результатов диссертации расчётами по представленным кодам программ.

Три научных положения, выносимые на защиту, были убедительно обоснованы, теоретически доказаны в виде теорем и модельно подтверждены с помощью вычислительных экспериментов.

Результаты диссертационного исследования обсуждались на научных конференциях различного уровня и опубликованы в рецензируемых журналах.

Серьёзных замечаний к работе нет. Но стоит заметить, что иногда встречаются повторы абзацев (например, на страницах 4 и 15). Оптимизация алгоритмов решения систем линейных алгебраических уравнений сделана только по одному критерию ускорения решения и не учитывает влияния шумов арифметики, обусловленных спецификой хранения элементов матриц, что зачастую влияет на обусловленность. В свою очередь это потребует построения эффективных предобусловливателей, проверки сходимости решения и не известно, сохранятся ли при этом оценки ускорения решения систем. Замечания не снижают положительную оценку диссертации, её научной новизны, значимости и достоверности результатов.

Диссертация имеет внутреннее единство, обусловленное её содержанием и логикой построения. Текст автореферата соответствует диссертации. Научные положения и выводы диссертации являются обоснованными. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне. Материал диссертации изложен грамотно и ясно, работа хорошо оформлена и по прочтении производит благоприятное впечатление.

Таким образом, обсуждаемая диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные результаты в части совершенствования алгоритмического и программного обеспечения расчёта геометрических и электрофизических па-

раметров структур радиоэлектронных устройств, содержащую решение новых задач и существенно расширяющую представления о сложности вычислительных методов, позволяющих улучшить быстродействие вычислительных алгоритмов. Работа полностью отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (см. пункты 9–14 Положения о порядке присуждения учёных степеней Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №824; редакция от 28.08.2017, № 1024). Считаю, что Ахунов Роман Раисович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент

Стукач Олег Владимирович

доктор технических наук, доцент,
профессор инженерной школы информационных технологий
и робототехники ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет»,
пр. Ленина, 30, г. Томск, 634050.
Т./ф.: 3822-701777, e-mail: tpu@tpu.ru

Подпись О.В. Стукача заверяю:
Учёный секретарь ТПУ



06.12.2018

О.А. Ананьева