

«Утверждаю»
Директор
Федерального государственного
Бюджетного учреждения науки
Вычислительного центра им. А.А. Дородницына
Российской академии наук



Академик
Ю.Г. Евтушенко

Ю.Г. Евтушенко 2014 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Демьянко Кирилла Вячеславовича «Быстрые методы
вычисления характеристик гидродинамической устойчивости», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.01.07 – «Вычислительная математика»

Диссертационная работа К.В. Демьянко посвящена разработке, обоснованию и реализации быстрых методов вычисления характеристик гидродинамической устойчивости течений в случае зависимости от многих пространственных переменных.

Содержание. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, основные элементы новизны и теоретической и практической значимости диссертационной работы. Перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации дано обоснование предложенной ранее А.В. Бойко и Ю.М. Нечепуренко методики численного исследования устойчивости решений систем обыкновенных дифференциальных и алгебраических уравнений, полученных после пространственной аппроксимации линеаризованных относительно основного течения уравнений вязкой несжимаемой жидкости. В частности, обосновывается алгебраическая редукция, сводящая исходную систему обыкновенных дифференциальных и алгебраических уравнений к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с матрицами меньшего порядка. Также показано, что поиск энергетического критического числа Рейнольдса может быть сведен к вычислению максимального собственного значения эрмитового матричного пучка со знакоопределенной матрицей при спектральном параметре. Предложен и обоснован алгоритм вычисления линейных критических чисел Рейнольдса и построения нейтральных кривых с заданной относительной точностью. В этом алгоритме с помощью стандартных процедур отыскания нуля и вычисления минимума функции одной переменной вычисляются нули максимальной вещественной части собственных значений (как функций числа Рейнольдса) спектральной задачи, отвечающей рассматриваемым линеаризованным уравнениям.

Во второй главе предложенная методика численного исследования устойчивости используется для анализа модельной задачи о течении в бесконечных каналах постоянного прямоугольного сечения. Здесь численно исследована зависимость линейного критического числа Рейнольдса течения Пуазейля от величины отношения длин сторон сечения.

Выполнено сопоставление полученных результатов с уже известными. Кроме того, впервые дано теоретическое обоснование полученной зависимости.

Третья глава посвящена методам решения частичной проблемы собственных значений (как в стандартной формулировке, так и в обобщенной) с большими разреженными матрицами. Основные вычислительные затраты при вычислении критических чисел Рейнольдса связаны именно с решением задач такого типа. Предложены и обоснованы методы ньютоновского типа для вычисления спектрального проектора, отвечающего заданной группе изолированных собственных значений большой разреженной матрицы, а также для вычисления понижающего подпространства, отвечающего заданному изолированному подмножеству конечных собственных значений регулярного матричного пучка с большими разреженными матрицами. Как и все методы ньютоновского типа, разработанные методы требуют хорошего начального приближения. Для его поиска предложены соответствующие варианты приближенного метода обратных итераций с коррекцией предобуславливания.

Актуальность. Тема диссертационной работы, безусловно, является актуальной. Предложенная технология может быть использована для исследования временной устойчивости широкого класса течений, представляющих как фундаментальный научный, так и прикладной практический интерес. Наиболее важными характеристиками гидродинамической устойчивости являются энергетическое и линейное критические числа Рейнольдса, вычисление которых сводится к решению частичных обобщенных проблем собственных значений, связанных с системами обыкновенных дифференциальных и алгебраических уравнений, аппроксимирующих линеаризованные уравнения вязкой несжимаемой жидкости. Вычисление линейного критического числа Рейнольдса с заданной относительной точностью является важной задачей, алгоритм решения которой впервые предложен в первой главе данной диссертации.

Важным вопросом также является детальное исследование стандартных модельных задач, позволяющих проверить эффективность предлагаемых методов и достоверность получаемых результатов. В качестве такой задачи во второй главе рассмотрена известная проблема устойчивости течения Пуазейля в бесконечном канале прямоугольного сечения. В диссертации экспериментально подтверждена зависимость линейного критического числа Рейнольдса течения Пуазейля от величины отношения длин сторон сечения канала, а также впервые найдено теоретическое обоснование данной зависимости.

Важным вкладом в развитие численных методов являются результаты третьей главы, где предложены новые эффективные алгоритмы итерационного решения частичных проблем собственных значений с большими разреженными несимметричными матрицами. Представляя собой инструмент решения алгебраической спектральной задачи в стандартной общей постановке, такие алгоритмы критически важны не только при исследовании сложных двумерных и, тем более, трехмерных задач гидродинамики, где необходимо использовать конечно-разностные или конечно-элементные методы аппроксимации, но и во многих других областях математического моделирования, непосредственно не связанных с тематикой двух первых глав диссертации. Для решения таких спектральных задач обычно применяют методы Арнольди и Якоби-Дэвидсона, а также несимметричный метод Ланцоша. Существенным недостатком этих методов являются как большие арифметические затраты, так и высокие требования к объему оперативной памяти, и поэтому по-прежнему актуальна разработка эффективных алгоритмов решения частичных проблем собственных значений.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Научная новизна работы состоит в следующем: разработан и обоснован алгоритм на основе стандартных процедур поиска нуля и минимизации функции одной переменной, позволяющий вычислять линейные критические числа Рейнольдса и строить соответствующие нейтральные кривые с заданной относительной точностью, чего не позволяют делать традиционные подходы. Предложен и обоснован специальный вариант упомянутой выше методики численного анализа,

предназначенный для исследования течений вязкой несжимаемой жидкости в бесконечных каналах постоянного прямоугольного сечения. Выполненные с его помощью расчеты зависимости линейного критического числа Рейнольдса течения Пуазейля от отношения длин сторон сечения позволили получить более точные, чем известные ранее, результаты. Впервые дано теоретическое обоснование этой зависимости, которое хорошо согласуется с результатами численных экспериментов. Предложены и обоснованы новые эффективные методы ньютоновского типа для решения частных проблем собственных значений с большими разреженными матрицами.

Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов. Разработан эффективный метод вычисления критических чисел Рейнольдса, применимый как при использовании метода коллокации, так и методов типа конечных элементов. В отличие от традиционных подходов, данный метод позволяет вычислять линейные критические числа Рейнольдса и строить соответствующие нейтральные кривые с заданной относительной точностью, а также является более экономичным. Предложен и обоснован специальный вариант разработанной А.В. Бойко и Ю.М. Нечепуренко вычислительной методики, предназначенный для исследования течений в бесконечных каналах постоянного прямоугольного сечения. С помощью этого метода исследована зависимость линейного критического числа Рейнольдса течения Пуазейля от отношения длин сторон сечения. Это позволило уточнить уже известные результаты. Также впервые дано теоретическое обоснование данной зависимости. Кроме того, разработаны надежные, экономичные и относительно простые методы ньютоновского типа для решения частных обычных и обобщенных проблем собственных значений с большими разреженными матрицами. Эти методы обладают квадратичной сходимостью. Кроме того, они являются значительно более экономичными по сравнению с методом Арнольди, методом Якоби-Дэвидсона и несимметричным методом Ланцоша, которые традиционно используются для решения таких задач.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Элементы обоснованной в диссертационной работе технологии, такие как алгоритмы вычисления критических чисел Рейнольдса и построения соответствующих нейтральных кривых, могут быть использованы для исследования устойчивости различных течений вязкой несжимаемой жидкости. Описанные в третьей главе методы ньютоновского типа, а также варианты приближенного метода обратных итераций с коррекцией предобуславливания, позволяют эффективно решать частные обычные и обобщенные проблемы собственных значений с большими разреженными матрицами.

Использование и дальнейшее развитие полученных в диссертационной работе результатов можно осуществлять в академических институтах, таких как Институт вычислительной математики РАН, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН. Результаты работы могут быть также использованы для исследования и усовершенствования существующих вычислительных алгоритмов и библиотек стандартных программ, включающих в себя алгоритмы решения спектральных задач с несимметричными разреженными матрицами большого размера.

В целом, работа выполнена на высоком уровне, все научные положения, выводы и рекомендации обоснованы. Достоверность основных результатов, сформулированных в заключении, не вызывает сомнения. Разработанные автором методы и программы являются новыми и эффективными. Основные результаты диссертации опубликованы в открытой печати, в том числе, есть три публикации в журналах из перечня ВАК, результаты широко обсуждались на различных конференциях и семинарах. Содержание диссертации достаточно полно и правильно отражено в автореферате.

Замечания. По диссертации и автореферату можно сделать следующие замечания:

1. Несмотря на актуальность параллельных вычислений на современных многопроцессорных вычислительных системах, вопрос о потенциальной возможности эффективной параллельной реализации предложенных в гл.3 методов остается нераскрытым.


Несомненно, что многие компоненты описанных алгоритмов (например, вычисление блочной невязки или процедуры ортогонализации) допускают эффективную параллельную реализацию согласно уже известным подходам. С другой стороны, насколько высокой окажется итоговая параллельная эффективность - неясно. Кроме того, эффективная параллельная реализация может потребовать использования совершенно иных подходов к построению предобусловливающих по сравнению с использованными в диссертации.

2. Кроме того, возникает вопрос о том, насколько эффективным окажутся предлагаемые методы при вычислении не нескольких собственных пар, а их большого числа (напр., нескольких сотен). Соответствующее увеличение размера блока представляет собой далеко не оптимальный вариант. Обычно в таких случаях используется прием дефляции, однако такая возможность применительно к предлагаемым алгоритмам не обсуждается.

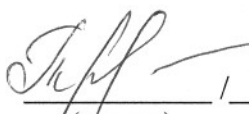
Перечисленные замечания и наличие вопросов дискуссионного характера не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не влияют на научную значимость и практическую ценность полученных результатов. Таким образом, работа полностью соответствует требованиям п. 8 части 2 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07 (вычислительная математика), а её автор, Демьянко Кирилл Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв на диссертационную работу был обсужден и утвержден на заседании научного семинара ВЦ РАН под руководством академика РАН Ю.Г.Евтушенко 22 декабря 2014 года, протокол №12.

Главный научный сотрудник сектора методов
оптимизации отдела прикладных проблем
оптимизации ВЦ РАН, д. ф.-м. н.

 / Антипин Анатолий Сергеевич /
(подпись) (расшифровка подписи,
фамилия, имя и отчество – полностью)

Ученый секретарь ВЦ РАН, к.т.н.

 / Трусова Юлия Олеговна /
(подпись) (расшифровка подписи,
фамилия, имя и отчество – полностью)

Дата

Почтовый адрес: 119333, Москва, ул. Вавилова, 40.

Телефон: 8 (499) 135-04-40

Адрес электронной почты: wcan@ccas.ru

Организация – место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Российской академии наук