

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу Гусева Олега Игоревича «Численные алгоритмы для расчета поверхностных волн в рамках нелинейно-дисперсионных моделей», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертация О.И. Гусева выполнена в лаборатории анализа и оптимизации нелинейных систем отдела вычислительных технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук и посвящена разработке численных алгоритмов решения систем нелинейно-дисперсионных дифференциальных уравнений волновой гидродинамики.

История активного развития нелинейно-дисперсионных (НЛД-) уравнений гидродинамики длинных поверхностных волн, используемых в численном моделировании, составляет около 50 лет (хотя первые модельные уравнения с дисперсией появились при упрощающих предположениях значительно раньше). В течение этого времени, начиная с пионерских работ [Mei C.C., Le Mehaute B., 1966; Peregrine D.H., 1966, 1967], были опубликованы сотни работ, посвященных различным аспектам изучения НЛД-моделей (построению, исследованию, применению, модификациям). Численные расчеты течений жидкости с поверхностными волнами показали, что моделирование на основе НЛД-уравнений гидродинамики может дать для многих задач не только качественное представление о картине течения, но и достаточно точные количественные характеристики распространения длинных волн и их взаимодействия с препятствиями, при этом на порядки, по сравнению с использованием полных (трехмерных) моделей гидродинамики, сокращаются необходимые для проведения расчетов машинные ресурсы.

Численные методы решения НЛД-уравнений гидродинамики получили стимул к развитию, когда были построены дифференциальные модели, отвечающие запросам инженерной практики, требовавшей учета реальной конфигурации водных бассейнов и уточненного прогнозирования процессов распространения волн с учетом дисперсионных эффектов. В отличие от классических бездисперсионных уравнений мелкой воды, являющихся наиболее распространенной моделью изучения длинных поверхностных волн с развитым аппаратом численной реализации, НЛД-уравнения содержат смешанные производные третьего порядка по времени и пространственным координатам, что требует специальных подходов к их численному решению.

В первых работах (например, [Peregrine, 1967]) использовались конечноразностные алгоритмы с аппроксимацией «в лоб» всех производных

(в том числе смешанных третьего порядка), входящих в НЛД-уравнения. Такие алгоритмы не поддаются теоретическому исследованию.

Основной прием, используемый в настоящее время в мировой практике решения НЛД-уравнений, состоит в том, что путем введения новых переменных система НЛД-уравнений “расщепляется” таким образом, что одна составляющая представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), а другая составляющая не содержит производных по времени и в простейшем случае выглядит как эллиптическое уравнение. Построение численных алгоритмов на основе расщепления системы НЛД-уравнений на систему ОДУ и некоторое эллиптическое уравнение было впервые предложено в работе [Eilbeck J.C., McGuire G.R., 1975] применительно к скалярному модельному уравнению, а затем распространено на системы слабо нелинейных и полностью нелинейных дисперсионных уравнений [Nwogu O., 1993; Wei G., Kirby J.T., 1995; Wei G., Kirby J.T., Grilli S.T., Subramanya R., 1995]. Недостатком рассмотренного подхода в нелинейном случае является использование уравнений в недивергентной форме. Также следует отметить, что в двумерном случае получается система двух дополнительных уравнений эллиптического типа относительно компонент вектора скорости, что усложняет вычислительный алгоритм. Но самым существенным недостатком является то, что в вычислительных алгоритмах не используются методы решения гиперболических уравнений, хорошо развитые для классической модели мелкой воды первого гидродинамического приближения. Кроме того, исследование численных методов, применяемых для решения НЛД-уравнений гидродинамики, существенно отстает от темпов развития самих НЛД-моделей и их использования на практике.

Перед диссертантом была поставлена задача разработки универсального вычислительного алгоритма для решения НЛД-уравнений, свободного от перечисленных выше недостатков известных алгоритмов и применимого для решения практических задач в рамках всей иерархии полученных в последнее десятилетие новых НЛД-моделей волновой гидродинамики, в частности, для НЛД-моделей, выведенных с учетом сферичности Земли, ее вращения и подвижности дна.

О.И. Гусев полностью справился с поставленной задачей, в ходе выполнения которой им получены следующие основные результаты.

1. Предложен новый подход для численного решения систем полностью нелинейных и слабо нелинейных дисперсионных уравнений, основанный на расщеплении исходной сложной задачи на две более простые, в одной из которых необходимо решать систему уравнений гиперболического типа, аналогичную системе уравнений мелкой воды первого длинноволнового приближения и отличающуюся от последней лишь правой частью, в другой – линейное равномерно эллиптическое уравнение второго порядка относительно дисперсионной добавки к давлению. Преимуществом предложенного подхода является потенциальная возможность использования хорошо изученных численных методов решения

гиперболических и эллиптических уравнений, а также конструирования и теоретического обоснования новых численных методов для этих уравнений с учетом их специфических особенностей, обусловленных учетом нелинейных и дисперсионных эффектов в рассматриваемой иерархии НЛД-моделей.

2. На основе расщепления системы НЛД-уравнений на систему уравнений гиперболического типа и скалярное уравнение эллиптического типа разработаны и программно реализованы оригинальные конечно-разностные алгоритмы, позволяющие выполнять расчёты распространения цунами, возникающих при землетрясениях или подводных оползнях, с учётом нелинейности и дисперсии волн, сферичности и вращения Земли, наличия островов и криволинейности береговой линии. Алгоритмы основаны на явной двухшаговой схеме предиктор-корректор, на каждом шаге которой поочередно решаются задачи, полученные в результате расщепления. Выполнено полное тестирование разработанных алгоритмов как на известных тестах, так и на новых, разработанных лично соискателем.

3. Выполнено теоретическое исследование свойств разработанных численных алгоритмов решения НЛД-уравнений и для этих алгоритмов установлена как преимущество некоторых свойств разностных схем, используемых для бездисперсионных уравнений мелкой воды, так и приобретение новых качеств. В частности, впервые получены уточненные и менее ограничительные по сравнению с известными условия устойчивости схем для НЛД-уравнений и условия согласования дисперсионных свойств разработанных разностных схем и аппроксимируемых ими НЛД-уравнений.

4. На модельных задачах о распространении цунами исследованы границы применимости моделей мелкой воды различного длинноволнового приближения и дана оценка важности учета эффектов, связанных со сферичностью Земли и ее вращением, зависимости дисперсионных эффектов от дальности распространения волн и размеров области начального возмущения свободной границы.

Все основные результаты были получены О.И. Гусевым самостоятельно. О.И. Гусев неоднократно выступал с докладами о полученных результатах на российских и международных конференциях, активно участвовал в выполнении грантов РФФИ и РФФИ. Результаты исследований О.И. Гусева нашли отражение в 27 печатных работах, в том числе 8 – в изданиях, рекомендованных ВАК для представления кандидатских диссертаций. Получено два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Диссертация в полном объёме докладывалась на заседании объединенного научного семинара ИВТ СО РАН, кафедры математического моделирования НГУ и кафедры вычислительных технологий НГТУ «Информационно-вычислительные технологии». Автореферат полностью отражает ее содержание.

В ходе работы над диссертацией Гусев О.И. проявил себя как грамотный специалист в области вычислительной математики и математического моделирования поверхностных волн, обладающий такими

важными качествами научного работника как самостоятельность, настойчивость, заинтересованность в изучаемой теме.

Диссертационная работа О.И. Гусева выполнена на высоком научном уровне, содержит новые результаты, имеющие важное научное и прикладное значение, и представляет собой завершённый цикл исследований по разработке численных алгоритмов расчета генерации и распространения поверхностных волн в рамках новейших математических нелинейно-дисперсионных моделей гидродинамики.

Считаю, что представленная к защите диссертация «Численные алгоритмы для расчета поверхностных волн в рамках нелинейно-дисперсионных моделей» удовлетворяет всем требованиям Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Гусев Олег Игоревич заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Научный руководитель
ведущий научный сотрудник лаборатории
анализа и оптимизации нелинейных систем
ИВТ СО РАН

д.ф.-м.н., профессор
630090, г. Новосибирск

просп. Академика Лаврентьева, 6
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт вычислительных технологий
Сибирского отделения Российской академии наук
Рабочий телефон: 8 (383) 330 86 56
Электронная почта: khak@ict.nsc.ru

Гаяз Салимович Хакимянов

Подпись в.н.с. ИВТ СО РАН Хакимянова Г.С.
Удостоверяю

Ученый секретарь ИВТ СО РАН
к.ф.-м.н.

08.09.2016



Д.В. Есипов