

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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»

Актуальность темы. Хотя прямых примеров применения полученных результатов к задаче цунамирайонирования в диссертации не приводится, данная работа может рассматриваться как часть решения глобальной и актуальной проблемы минимизации ущерба последствий стихийных бедствий. Результат диссертационного исследования позволяет уточнить существующие модели возникновения и распространения волн цунами. От моделей мелкой воды автор переходит к моделям, позволяющим учитывать эффекты нелинейности, дисперсионные эффекты и, в определенных случаях, эффекты сферичности и вращения Земли.

Диссертация общим объемом 180 страниц состоит из введения, трёх глав и заключения с 50 рисунками и 3 таблицами. Подробный список литературы содержит 176 наименований.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследований, сформулированы цель и решаемые в работе задачи. Приведены основные результаты и положения, выносимые на защиту. Обсуждаются научная новизна, практическая ценность и теоретическая значимость результатов проведенных исследований.

В Главе 1 выписаны несколько различных вариантов систем уравнений нелинейно-дисперсионных моделей, в том числе полных, слабо нелинейных, выведенных с использованием и без использования предположения о малости деформаций дна, которые имеют согласованное с моделью Эйлера уравнение баланса энергии. Выведено уравнение для дисперсионной составляющей проинтегрированного давления для этих моделей.

Найдены и проанализированы частные аналитические решения используемых нелинейно-дисперсионных моделей.

Обоснованы численные алгоритмы для системы нелинейно-дисперсионных уравнений. Алгоритм решения обыкновенных дифференциальных уравнений для дисперсионной составляющей строится на основе интегро-интерполяционного метода и метода прогонки. Рассмотрен вопрос об устойчивости метода прогонки, приведен пример нарушения диагонального преобладания в случае с функцией батиметрии, первая производная которой терпит разрыв. Предложен способ решения этой проблемы путём сглаживания указанной функции. Гиперболическая система уравнений мелкой воды с модифицированной правой частью численно решена при помощи явной двухшаговой конечно-разностной схемы типа предиктор-корректор с TVD-ограничителями.

Выполнен стандартный анализ устойчивости, дисперсии и диссипации численного метода, и определено соотношение между численной и физической

дисперсией. Работоспособность и особенности численного алгоритма продемонстрированы на задачах о прохождении уединенной волны, задаче наката на вертикальную стенку и задаче схода подводного оползня.

В главе 2 результаты первой главы распространены на случай движения жидкости в горизонтальной плоскости. Выписаны дифференциальные уравнения нескольких вариантов нелинейно-дисперсионных моделей, выделены гиперболическая и эллиптическая части, для последней доказывается равномерная эллиптичность. Тщательно исследован численный алгоритм для гиперболической части системы, основанный на явной двухшаговой схеме типа предиктор-корректор. Эллиптическое уравнение решается методом верхней релаксации.

Результаты расчетов по различным вариантам нелинейно-дисперсионных моделей сравниваются на задаче о сходе твёрдой модели оползня по плоскому склону. Сделан вывод о соответствии решений нелинейно-дисперсионной модели эксперименту в мелководной части акватории и объясняется поведение численного решения при описании образования волн в глубоководной части.

Далее рассматривается задача об обтекании волной конического острова. Отмечается, что в зависимости от амплитуды набегающей волны максимальный заплеск наблюдается в разных точках.

Численно исследовано влияние частотной дисперсии в задаче о распространении волн в модельной акватории, аппроксимирующей распределение глубин около Курило-Камчатского желоба, при различных источниках волн.

Приведены некоторые результаты численного моделирования гипотетических подводных оползней в Чёрном море.

Глава 3 посвящена численному анализу распространения длинных волн по вращающейся сфере. Аналогично тому, как это сделано в случае одной пространственной переменной и в плановой постановке, выписывается дифференциальная система уравнений и в ней выделяется гиперболическая и эллиптическая часть. Разностный алгоритм для решения гиперболического уравнения, как и в других случаях, имеет тип предиктор-корректор. Полученное эллиптическое уравнение решается методом верхней релаксации. Исследуется влияние на результаты расчетов сферичности Земли, центробежной силы и силы Кориолиса,

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, основывается на использовании эффективных теоретически обоснованных численных методов и алгоритмов моделирования течений несжимаемой жидкости, а также совпадении авторских результатов с экспериментальными данными. Учитывая достигнутое качественное и количественное согласие результатов моделирования с результатами проведённых натуральных экспериментов, достоверность результатов моделирования обоснована и не вызывает сомнений.

Научная новизна полученных результатов заключается в построении однотипного эффективного численного алгоритма для ряда нелинейно-дисперсионных моделей, учитывающих подвижное дно, во всех трех рассмотренных случаях: для одномерных и плановых нелинейно-дисперсионных моделей, и нелинейно-дисперсионной модели на вращающейся сфере. При этом в системе уравнений нелинейно-дисперсионных моделей выделяются гиперболическая и эллиптическая подзадачи. Разностный алгоритм строится с использованием метода предиктор-корректор для гиперболической части и интегро-интерполяционного для эллиптической.

В линейном приближении проводится тщательный анализ диссипативных и дисперсионных свойств конечно-разностной схемы. Находятся условия разрешимости полученных систем уравнений, исследуется зависимость полученных численных решений от параметров численного алгоритма, проводится верификация полученных значений путем сравнения с аналитическими решениями и сравнением с результатами других авторов.

На основе методических расчетов исследуется зависимость полученных решений от физических параметров модели, определяются границы применимости различных нелинейно-дисперсионных моделей (мелкой воды, слабо нелинейно-дисперсионной, полной нелинейно-дисперсионной и др.).

Проводятся расчеты гипотетических и реальных цунами с использованием построенных численных алгоритмов.

Практическая значимость полученных соискателем результатов исследования подтверждается тем, что, с одной стороны, на их основе можно проводить расчеты распространения волн цунами в случаях, когда необходимо учитывать такие факторы как нелинейность, частотная дисперсия волн, форма и вращение Земли. С другой стороны, они позволяют выявить ситуации, когда можно обойтись более простыми и менее затратными в расчетах моделями.

Хотелось бы видеть эти результаты реализованными в универсальном пакете прикладных программ расчета волн цунами аналогично существующим пакетам программ для расчетов трехмерных течений неоднородной жидкости, тем более, что отдельные модули такого пакета программ автором уже оформлены и прошли государственную регистрацию.

Положения, выносимые на защиту, сформулированы четко. В ходе работы над диссертацией О.И. Гусев опубликовал 28 работ, в том числе восемь статей опубликованы в журналах из списка ВАК. Имеется два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ в Роспатенте.

В данных публикациях автора материалы диссертации изложены достаточно полно.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Замечания.

1. В автореферате отмечен личный вклад автора в часть данного исследования, а именно, в преобразование самих нелинейно-дисперсионных моделей

- и реализацию численных алгоритмов, но не указан вклад других авторов (автора).
2. Выделение эллиптической части и использование разностных схем с пересчетом при численной реализации нелинейно-дисперсионных моделей является, вообще говоря, общепринятым подходом, например, он реализован в работе 1976 г. (в списке литературы диссертации [107]). Другое дело, что в данном исследовании эти процедуры реализованы специальным образом, и четко выделяются гиперболическая и эллиптическая части.
 3. Отсутствие в уравнениях плановой модели влияния сил Кориолиса сильно снижает значимость полученных результатов, поскольку при расчетах с большим временем распространения волны численные расчеты приближенных к реальным условиям задач превращаются в методические расчеты.
 4. Практически не исследовано влияние численной реализации граничных условий непротекания и неотражающих краевых условий в форме Зоммерфельда на результаты расчетов в случае плановой постановки и вращающейся сферы, хотя этот анализ можно было бы провести на уровне методических расчетов.

Ниже приведен ряд других, менее важных замечаний.

Стр. 21. Вид уравнения неразрывности следует не только из того, какие берутся переменные, но и из того, какие граничные условия ставятся на свободной поверхности.

Стр. 24. Если следовать формулам (1.22) и (1.23), в которых $h(x, t) = h_0(x) + \beta t$ и $\eta = \beta t$, то $H = h + \eta = h_0(x) + 2\beta t$, в то время как в (1.23) указано $H = h_0(x)$.

Стр. 49. За переменную θ принимается и фаза гармонического решения (стр. 49), и параметр разностной схемы (стр. 50), и базовый параметр оползня (θ , стр. 65), что создает трудности при чтении.

Стр. 50. Неверно указаны пределы изменения переменной ξ .

Заключение.

Ввиду несомненных достоинств диссертации указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

В целом проделанное научное исследование представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение проблем, имеющих существенное значение для математического моделирования и для дальнейшего развития задач определения характера океанических течений.

Хорошее впечатление оставляет то, что проводится сравнение с численными расчетами других авторов и представлен обширный список литературы. Примеры расчетов для случая вращающейся сферы в литературе вообще единичны.

Работа выполнена на хорошем профессиональном уровне, потребовавшем использования методов математического и численного моделирования, умения

разрабатывать современное прикладное программное обеспечение, удовлетворяющее принципам модульности, адаптивности и т.д.

Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достаточно обоснованы, обладают научной новизной, представляют, как теоретическую, так и практическую ценность и могут быть использованы при решении составления карт цунамирайонирования.

Таким образом, диссертация «Численные алгоритмы для расчета поверхностных волн в рамках нелинейно-дисперсионных моделей» отвечает критериям, установленным в пунктах 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» с изменениями, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор Гусев Олег Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

Старший научный сотрудник отдела «Вычислительные модели в гидрофизике» Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» к.ф.-м.н., доцент

Компаниец Лидия Алексеевна
08 декабря 2016 г.

Адрес: ИВМ СО РАН,
Академгородок, дом. 50, стр. 44
г. Красноярск, 660036

Тел.: 8 (391)2-49-88-11;
E-mail: kla@icm.krasn.ru

Подпись Л.А. Компаниец заверяю.

Директор Института вычислительного моделирования
Сибирского отделения Российской академии наук
обособленного подразделения ФИЦ ИВМ СО РАН
д.ф.-м.н., профессор

В.М. Садовский