

О Т З Ы В

на автореферат кандидатской диссертации

Гусева Олега Игоревича

на тему «Численные алгоритмы для расчета поверхностных волн в рамках нелинейно-дисперсионных моделей»

Современные методы исследования волн цунами основаны на теории мелкой воды и её обобщениях. Уравнения нелинейной теории мелкой воды, реализованные численно, позволили смоделировать цунами многих исторических событий и получить адекватные оценки. Описание распространения волн цунами в открытом океане проработано наиболее полно и в настоящее время является уже делом техники. Существуют программные комплексы, в которых реализованы нелинейные (слабодисперсионные) уравнения мелкой воды (комплексы TUNAMI-N2 и версия для сферических координат TUNAMI-F2), также комплексы, в которых реализованы нелинейные уравнения Буссинеска (FUNWAVE, GEOWAVE) позволяющие учитывать дисперсию волн цунами. В последнее время, ввиду быстрого наращивания вычислительных мощностей научными и промышленными организациями, начали использоваться и более сложные модели, основанные на уравнениях Навье-Стокса (пакет ЛОГОС).

Наиболее проблемным местом в моделировании цунами является источник. Если в моделях для сейсмического источника цунами присутствует известная доля «эмпиризма», то, например, для оползневых цунами и цунами, порожденных падением тел воду, существующий уровень развития вычислительных методов позволяет построить уже адекватную модель, описывающую все физические особенности зарождения и выхода волны из источника. Такие модели уже известны и опираются они на полную систему уравнений гидродинамики – трехмерную систему уравнений Навье-Стокса. Как справедливо отмечает диссертант, практическое применение в настоящее время данной системы по факту сопряжено с единственной трудностью – высокой вычислительной нагрузкой, хотя повсеместная доступность вычислительных ресурсов снимает ограничения на моделирование в полной постановке отдельных стадий (источник и накат) в ограниченных областях.

Для применения в моделировании цунами уравнений Навье-Стокса (да и не только в цунами) необходимо калибровка и верификация вычислительной программы, которая осуществляется на экспериментальных или данных натуральных наблюдений, а также на кросс-верификации с другими программами. Учитывая, что геофизический вычислительный эксперимент поставить довольно сложно, а данные натуральных наблюдений не всегда корректны, то кросс-верификация с другими программами, основанными на таких же или подобных уравнениях, реализованных в одномерном или двумерном случае, начинает занимать весомое место в адаптации к практическим расчетам сложных нелинейных трехмерных моделей. Именно, вопрос кросс-верификации, делает разработки, предложенные диссертантом практически значимыми в проблеме разработки численных методов для моделирования цунами. Фундаментальный характер исследований, выполненных диссертантом, а также универсальный численный алгоритм решения систем полных и слабо нелинейных дисперсионных уравнений позволит понять многие эффекты, которые зачастую являются численными, при адаптации уравнений Навье-Стокса к расчету волн цунами на реальных трехмерных геометриях. Разработанные

диссертантом модели позволят проводить численные исследования процессов образования и распространения длинных поверхностных волн в идеализированных акваториях для сравнительного анализа расчётов на основе различных физико-математических моделей. Все системы уравнений адаптировать к расчётам в идеализированных акваториях существенно проще. Научная новизна и важность проведенных исследований являются актуальными и практически значимыми.

По изложению в автореферате можно достаточно высоко оценить уровень проделанной работы. К замечаниям изложения автореферата необходимо отнести следующие:

1. Как отмечается в автореферате, наличие смешанной производной существенно осложняет построение численных схем. Однако, диссертантом никак не анализируется устойчивость предложенных алгоритмов, хотя бы для двумерного случая – это ключевой момент для практического применения. Какие нужны сетки, как строится и/или загружается идеализированная акватория, какие схемы аппроксимации лучше использовать для более/менее точного и устойчивого счета и т.д.
2. При разработке численных алгоритмов существуют определенные правила проверки их работоспособности и границ применимости. К ним относятся сравнение с аналитическими решениями и экспериментальными данными, а также оценка сходимости метода на последовательности сгущающихся сеток для серии определенного класса задач, позволяющих выявить границы применимости предложенного метода. В автореферате диссертации отражена только первая составляющая, а сравнение и экспериментом и проверка на сходимость отсутствуют.
3. Продолжение второго замечания. В целях диссертации заявляется *«на тестовых задачах провести верификацию предложенных алгоритмов и программных реализаций путём сравнения полученных численных решений с аналитическими, экспериментальными данными и расчётами других авторов»*, однако в автореферате приводится сравнение только по разным моделям и оценить правдоподобность результатов не представляется возможным. Не приведено ни одного сравнения с экспериментом, хотя слова тексте о совпадении *«с экспериментальными данными»* присутствуют.
4. При описании построения численных схем диссертантом использовался термин TVD – *«гарантирует выполнение TVD-свойства» при численном решении модельных скалярных уравнений». Схемы типа TVD были разработаны для определенных задач, связанных с ударными волнами (и большинство лимитаторов разработано именно для сжимаемого газа), какое они вносят качество в разработанные методы и в результаты моделирования волн цунами, не поясняется. Хотя место TVD-схем в аппроксимации производных высоких порядков является очевидным, их фундаментальная составляющая при моделировании течений типа цунами требует осмысления, как и вообще для течений вязкой несжимаемой жидкости.*
5. Сход оползня, моделируемый диссертантом двумерный, тогда как сам процесс существенно трехмерный. Обобщение предлагаемых методов на трехмерный случай является нетривиальной задачей. Можно ли предложенные схемы обобщить на трехмерный случай?
6. По тексту автореферата имеется объяснение уж совсем очевидных вещей - *«Показано, что оползень L1, располагавшийся несколько выше по склону, имел большее начальное*

ускорение в сравнении с более заглублёнными оползнями L2 и L3 и сложную траекторию движения». Очевидно, что оползень расположенный выше при движении получит большее ускорение, чем подобные оползни, расположенные ниже.

Несмотря на отмеченные недостатки, работа и представленные результаты заслуживают высокой оценки. Автореферат свидетельствует, что Гусев О.И. успешно провел актуальное и практически значимое исследование, которое можно квалифицировать как научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний. Работа соответствует паспорту заявленной специальности, а Гусев Олег Игоревич, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Начальник научно-исследовательской
лаборатории ИТМФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
к.ф.-м.н.

12.12.16

Козелков А.С.

Подпись А.С. Козелкова заверяю
ученый секретарь НТС ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
д.ф.-м.н.

Сизов А.Н.

Заведующий кафедрой «Прикладная Математика»
ФГБОУ «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»,
д.ф.-м.н., профессор

12.12.16

Куркин А.А.

Подпись А.А. Куркина заверяю
ученый секретарь ФГБОУ «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»,

Мерзляков И.Н.

Сведения об организации: Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Федеральное государственное унитарное предприятие РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР, Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», 607188, Нижегородская обл. г.Саров, пр. Мира, д.37, Телетайп 151535 «Мимоза», Факс 8(3130)29494, E-mail staff@vniief.ru.

Сведения об организации: Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетно-образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина 24, nntu@nntu.nnov.ru, www.nntu.ru.