

ОТЗЫВ

Официального оппонента главного научного сотрудника МГУ им. М.В. Ломоносова, доктора физико-математических наук, доцента Дианского Николая Ардальяновича на диссертационную работу Иванова Александра Владимировича «Регуляризованные уравнения мелкой воды для моделирования неоднородных течений и течений со свободной поверхностью в задачах геофизики», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Представленная работа посвящена развитию численных алгоритмов и математическому моделированию на их основе ряда задач. К подобным этим задачам относится расчет приливных и нагонных явлений, моделирование неоднородных течений с использованием приближения двухслойной мелкой воды и модели переноса пассивного скаляра в мелкой воде, а также реализация нового решателя для задач гидродинамики в приближении мелкой воды в рамках открытого пакета. Метод численного моделирования основан на построении сглаженных по малому промежутку времени уравнений, в которых при таком сглаживании образуются дополнительные диссипативные слагаемые. Благодаря этим добавкам явные схемы решения описанных уравнений с аппроксимацией пространственных производных центральными разностями оказываются условно-устойчивыми, что позволяет применять их для численного решения уравнений гидродинамики в приближении мелкой воды. Особо следует упомянуть возможность расчета с помощью предложенного алгоритма т.н. осушки и затопления прибрежных зон, что является практической востребованной задачей.

Актуальность темы диссертационной работы заключается в необходимости дальнейшего развития и совершенствования методов и алгоритмов для расчетов гидродинамических течений и течений с неоднородностями.

Во введении поясняется актуальность темы диссертации, формируются цели и ставятся задачи работы, обосновываются теоретическая и практическая значимость и научная новизна работы, а также перечисляются основные положения, выносимые на защиту. Обоснована достоверность результатов работы, представлен список опубликованных работ автора и данные об апробации результатов диссертации на семинарах и конференциях.

В первой главе приводится система регуляризованных уравнений мелкой воды, описывается численный алгоритм решения и его

усовершенствования для расчета зон обводнения-осушки и учета приливных колебаний уровня моря. Описывается созданный автором исследовательский вычислительный комплекс на основе регуляризованных уравнений и пример его использования для моделирования части акваторий северных морей.

Вторая глава посвящена разработке двух методик численного моделирования неоднородных течений. В первой части главы описывается модель двухслойной мелкой воды и методика построения регуляризованных уравнений двухслойной мелкой воды. Проведена валидация численного алгоритма на модельных одномерных задачах. Вторая часть главы посвящена разработке нового подхода для расчета переноса примеси в мелкой воде. Представлено регуляризованное уравнение переноса примеси совместно с системой регуляризованных уравнений мелкой воды и алгоритм численного решения полученной системы. Валидация алгоритма проводится на типичных одномерных и двумерных модельных задачах. В завершении главы описывается моделирование циркуляции воды в озере Валунден. Результат расчета позволяет оценить распределение температур в озере вблизи канала, через который за счет приливных эффектов в акваторию из фьорда периодически попадает более холодная океанская вода.

В третьей главе описывается реализация нового гидродинамического решателя на базе регуляризованных уравнений мелкой воды в открытом программном пакете OpenFOAM. Включение решателя в пакет расширяет возможности разработанного алгоритма и, в частности, позволяет использовать неструктурированные сетки и параллельные вычислительные системы для ускорения счета. Приведены примеры одномерных и двумерных численных расчетов, выполненные в рамках пакета.

В заключении сформированы основные выводы и результаты работы.

Структура диссертации представляет собой введение, три главы, заключение и список литературы из 80 наименований (всего 125 стр. текста).

Научная новизна работы заключается

1. В построении новых алгоритмов для моделирования неоднородных течений в рамках регуляризованных уравнений.
2. В разработке нового решателя для моделирования гидродинамики в приближении мелкой воды, реализованного в рамках открытого пакета программ.

Практическая значимость. Результаты работы, выносимые на защиту, имеют практическую ценность. Новый алгоритм для моделирования неоднородных течений в приближении двухслойной мелкой воды может быть применен для расчета циркуляции в водоемах с ярко выраженной двухслойной стратификацией, например, течение в Гибралтарском проливе и Черном море, а также для моделирования распространения селей и лавин. Модель переноса пассивного скаляра в рамках регуляризованных уравнений мелкой воды

может быть использована для оперативного прогноза распространения загрязнений при техногенных катастрофах, например, при разливе нефти из поврежденного танкера. Разработанный алгоритм может быть применен для прогноза затопления прибрежных территорий при разливах рек и наводнениях, при расчетах нагрузок на портовые сооружения из-за прихода в акваторию наружных волн. Решатель, включенный в открытый пакет, может быть использован посторонними пользователями для их конкретных задач, и при необходимости изменен и дополнен под конкретные задачи.

Диссертация написана на высоком математическом уровне, четко и ясно изложена, что свидетельствует о высокой квалификации ее автора.

Высоко оценивая диссертационную работу в целом, необходимо отметить следующие выявленные замечания.

1. При описании метода расчета приливов в Баренцевом и Карском морях приведены упрощённые условия для скорости на «жидких» границах не учитывающие характер распространения приливной волны, что должно приводить к ошибкам в расчетах приливной динамики. Кроме того, не проведена верификация расчетов приливов, что легко можно было бы сделать путем сравнения рассчитанного и реального приливного уровня моря по данным береговых станций наблюдений, находящихся в открытом доступе.
2. В диссертации не описан переход от уравнений двухслойной мелкой воды к системе однослойной мелкой воды. Такой переход позволил бы отразить связь моделей и их свойства.
3. В работе ничего не сказано о возможностях параллельных расчетов с помощью нового решателя, что является важным при моделировании обширных акваторий на долгий срок.

Указанные замечания не снижают качества представленной диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Александра Владимировича Иванова является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Основные результаты диссертации прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях и в должной мере отражены в научных публикациях, включая издания из перечня ВАК. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Основываясь на сказанном, считаю, что представленная диссертация по объему и глубине проработки, новизне и достоверности ее результатов соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, в том числе соответствует требованиям п.9

«Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Иванов Александр Владимирович, безусловно заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент

Дианский Николай Ардальянович

доктор физико-математических наук и доцент по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.

главный научный сотрудник кафедры физики моря и вод суши физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, физический факультет
Тел.: +7(905)797-94-12, e-mail: nikolay.diansky@gmail.com,

Н.А. Дианский

20 марта 2024 г.

Подпись официального оппонента д.ф.-м.н. Николая Ардальяновича Дианского заверяю

И.О. декана физического факультета МГУ

/Белокуров В.В./

