

ОТЗЫВ

Официального оппонента главного научного сотрудника ИВМ РАН, доктора физико-математических наук, член-корреспондента РАН Ибраева Рашита Ахметзиевича на диссертационную работу Сабурина Дмитрия Сергеевича «Применение регуляризованных уравнений для математического моделирования нестационарных течений жидкости со свободной поверхностью в приближении мелкой воды», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Представленная работа посвящена численному моделированию практических задач колебаний топлива в емкостях сложной формы, описание генерации волн Фарадея в лабораторном эксперименте, а также ветровых нагонов и сейш в Азовском море в приближении мелкой воды. Основой численного алгоритма является использование предварительного осреднения уравнений, или сглаживания основных переменных по малому пространственно-временному интервалу. В результате в уравнениях появляются регуляризирующие добавки, которые обеспечивают устойчивость численного решения в широком диапазоне чисел Фруда для уравнений мелкой воды, что позволяет строить простые и эффективные численные алгоритмы. Полученные таким способом уравнения называются регуляризованными уравнениями мелкой воды (РУМВ).

Актуальность темы диссертационной работы состоит в дальнейшем развитии подхода РУМВ и привлечения к нему внимания специалистов, разработке и усовершенствовании эффективных алгоритмов на основе РУМВ для математического моделирования нестационарных течений жидкости со свободной поверхностью в приближении мелкой воды.

Во введении приводится актуальность темы диссертации, цели и задачи работы, теоретическая и практическая значимости, научная новизна работы, основные положения, выносимые на защиту. Представлены достоверность результатов работы, список печатных трудов автора, апробация результатов диссертации на семинарах и конференциях.

В первой главе выписывается система УМВ, которая используется для постановки практических задач, приводится вывод системы РУМВ, которая

используется как основа численного метода решения, и её разностная аппроксимация, обсуждаются наиболее важные для решения прикладных задач спецификации численного алгоритма.

Вторая глава посвящена исследованию нестационарных движений жидкости в грузовых емкостях судов, движущихся с существенным изменением скорости при столкновении с ледовым препятствием. Исследование проводилось совместно со специалистами из Санкт-Петербургского морского государственного технического университета. Были рассчитаны максимальные нагрузки на стенки бака при лобовом столкновении с ледовым препятствием и при столкновении под углом к траектории движения судна при небольших уровнях заполнения бака, которые являются важными характеристиками для описания условий безопасной эксплуатации судна. Использование приближения мелкой воды позволило значительно снизить время расчетов по сравнению с существующими моделями в рамках трехмерных уравнений Навье-Стокса.

Третья глава посвящена численному моделированию лабораторного эксперимента по возбуждению волн Фарадея – стоячих волн в жидкости при вертикальных гармонических колебаниях сосуда с жидкостью. В рамках численного эксперимента были получены диапазоны частот колебаний сосуда, при которых образуются первая и вторая моды колебаний.

В четвертой главе приводятся результаты численного моделирования сейш и сгонно-нагонных явлений в марте 2013 г. и сентябре 2014 г. в Азовском море. Над этой задачей диссертант работал совместно с Государственным океанографическим институтом имени Н.Н.Зубова. Простая постановка задачи, включающая в себя четыре основных внешних фактора, которые влияют на циркуляцию в неглубоких водоемах: сила Кориолиса, сила трения ветра о поверхность воды, сила донного трения, топография дна, а также новый численный алгоритм, основанный на регуляризованных уравнениях мелкой воды, позволили построить простые эффективные численные решения, которые хорошо совпадают с данными реальных наблюдений нагонов в 2013 и 2014 годах и оказываются не менее точными, чем расчеты этих явлений в рамках существующих программных комплексов.

В приложении 1 приведены результаты расчетов циркуляции Черного моря по модели регуляризованных уравнений мелкой воды. Показано, что модель адекватно воспроизводит общую структуру течений, при этом недостаточно точно описывает его физические характеристики, такие, как скорость течения и глубина моря. **В приложении 2** диссертант приводит подробное описание программного кода.

Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений, списка литературы из 98 наименований (всего 133 стр. текста).

Научная новизна работы заключается:

1. В разработанных математических моделях в рамках приближения мелкой воды для решения задач о колебаниях топлива в танкерах

газовозов и генерации волн Фарадея в рамках неинерциальной системы координат.

2. В разработанной математической модели с использованием РУМВ для описания циркуляции жидкости в неглубоких водоемах.

Практическая значимость. Результаты работы, выносимые на защиту, имеют реальную практическую ценность. Так, созданные в главе 2 программный комплекс может использоваться как для быстрой оценки максимальных нагрузок на стенки грузовых емкостей при различных условиях эксплуатации судов, так и для верификации более сложных программных комплексов, позволяющие рассчитывать нагрузки при больших заполнениях бака. Аналогичным образом программный комплекс, созданный в рамках главы 4, может использоваться для прогноза течений и уровня моря в зависимости от ветрового волнения в режиме реального времени, а также стать частью программного комплекса для расчетов течений и уровня моря вблизи береговой линии.

Диссертация написана четко и ясно, что свидетельствует о высокой квалификации ее автора.

В качестве замечаний по работе отмечу следующее:

1. Над моделированием экстремальных нагонов в Азовском море диссертант работал совместно с ГОИН имени Н.Н.Зубова, однако в работе не приведено сравнение результатов расчетов с расчетами ГОИН, например, на рис. 4.11 и 4.12.
2. При моделировании сейш и экстремальных нагонов в Таганрогской бухте не учтен сток реки Дон.
3. В работе указано о распараллеливании задачи с помощью технологией OpenMP, однако не указано, на сколько ядер это сделано, на сколько ядер возможно распараллеливание, не приведены оценки ускорения расчета при распараллеливании.
4. Очень подробно написан программный код в приложении 2, листинги с заголовочными файлами и объявлением переменных следовало опустить.

Указанные замечания не снижают высокого научного уровня представленной диссертации.


Заключение

Диссертационная работа Сабурина Дмитрия Сергеевича 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, Сабурин Дмитрий Сергеевич, безусловно заслуживает присуждения ей искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Главный научный сотрудник
д.ф.-м.н.

 / Р.А. Ибраев /

27.05.2018

Подпись Р.А. Ибраева заверяю

Ученый секретарь
д.ф.-м.н.



 / В.П. Шутяев /