

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Проценко Софьи Владимировны
**«Математическое моделирование волновых гидродинамических
процессов в прибрежных системах с использованием
многопроцессорных вычислительных систем»**,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18
«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы и соответствие специальности. Моделирование гидродинамических волновых процессов и прогнозирование гидродинамического волнового воздействия на берегозащитные сооружения и прибрежные конструкции являются насущными задачами. Актуальным является вопрос о прогнозировании на основе численного моделирования течений при неполной информации о турбулентных пульсациях, которые определяют распределение в воде биогенных веществ, кислорода и загрязняющих субстанций.

Трудоемкость получения данных в условиях реального моря и ограниченность натурных измерений обуславливают сложность задачи. Часть существующих подходов к построению моделей гидродинамических процессов в прибрежной зоне мелководных водоемов базируется на гидростатическом приближении, которое не учитывает турбулентный теплообмен по вертикальному направлению. Однако экспериментальные данные свидетельствуют о существенном влиянии адвекции на гидрофизику прибрежной зоны. Поэтому построение, исследование и применение пространственно-трехмерных моделей гидродинамики, учитывающих механизмы турбулентного и адвективного обмена по вертикальной координате, является **актуальной научной и важной прикладной** проблемой. Данный класс задач является вычислительно трудоемким, многие прогнозы волновых гидродинамических процессов необходимо проводить при возникновении штормовых нагонов и экстремальных волн, это требует построения эффективных параллельных алгоритмов и использования высокопроизводительных вычислительных систем.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, достаточна для кандидатской диссертации. Математически обоснованы методы теории разностных схем, с помощью которых выполнена дискретизация непрерывной трехмерной модели гидродинамики, исследованы ее устойчивость и консервативность. Результаты расчетов согласуются с натурными данными для Азовского моря. Работы соискателя развивают теоретические и практические положения по вопросам, исследуемым сотрудниками школы чл-корр. РАН А.И. Сухинова.

Научная новизна диссертационной работы заключается в построении трехмерной математической модели волновых процессов, которая учитывает влияние вертикальной структуры процессов турбулентного перемешивания. В работе проведен расчет коэффициентов вертикального турбулентного обмена на основании различных подходов к его параметризации с использованием данных о пульсациях компонент скоростей, измеренных в ходе экспедиций. Проведено исследование дискретной модели, построенной на прямоугольной сетке с учетом функции частичной заполненности ячеек средой, доказана ее монотонность, устойчивость и консервативность. Предложен новый симметризованный вариант адаптивного попеременно-треугольного итерационного метода, проведено его сравнение с базовым алгоритмом АПТИМ для решения сеточных уравнений с несамосопряженным оператором. Проценко С.В. является соавтором разработанного программного комплекса, позволяющий моделировать гидродинамические процессы с учетом выхода волны на берег при наличии берегозащитных сооружений. Предложенные и опубликованные автором усовершенствованные модели волновой гидродинамики позволяют повысить точность математического моделирования исследуемых процессов и строить оперативные прогнозы динамики развития прибрежной зоны мелководных водоемов.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в построении дискретной трехмерной модели гидродинамических волновых процессов с уточненным описанием вертикального турбулентного обмена в прибрежной зоне, а также вычислительных алгоритмов и программ для расчета процессов переформирования рельефа дна и оценки силового воздействия на объекты инфраструктуры. Разработанный программный комплекс позволяет оперативно моделировать неблагоприятные и опасные явления в прибрежной зоне. Это обеспечили модули (под управлением MPI), реализующие наиболее трудоемкие по времени вычислительные блоки. Разработанный программный комплекс также дает возможность оценивать долговременные последствия (месяцы-годы) волнового воздействия на рельеф дна и объекты береговой инфраструктуры.

Содержание и структура диссертации.

Во введении обосновывается актуальность темы, характеризуется степень разработанности темы исследования, формулируются цель и задачи диссертационного исследования, приводятся материалы и методы, описывается научная новизна работы, раскрывается практическая и научная значимость.

Первая глава посвящена обзору существующих исследований теории гидродинамических волновых процессов, анализу моделей гидродинамических процессов, анализу мирового опыта моделирования гидродинамических процессов при наличии берегозащитных сооружений. Перечислены имеющиеся программные комплексы.

Во второй главе приведен обзор теоретических сведений о вертикальной структуре процессов перемешивания в водоемах. Описаны основные характеристики для описания свойств турбулентности, изучено распределение вертикальных слоев в

столбе жидкости. С использованием экспериментальных данных о пульсациях компонент скорости вычислен коэффициент вертикального турбулентного обмена.

Третья глава посвящена построению и исследованию дискретных моделей волновой гидродинамики. Определены условия устойчивости для трехмерной модели гидродинамики мелководных водоемов, доказано сохранение потока на дискретном уровне и отсутствие неконсервативных диссипативных слагаемых.

Четвертая глава посвящена разработке симметризованного адаптивного попеременно-треугольного итерационного метода. Дана параллельная реализация алгоритма ПТМ на основе декомпозиции расчетной области по двум пространственным направлениям с использованием технологии MPI. Представлены результаты вычислительных экспериментов на многопроцессорной вычислительной системе Научно-технологического университета «Сириус».

Пятая глава посвящена описанию разработанного программного комплекса и вычислительных экспериментов. Полученные результаты показали возможности модели и программного комплекса предсказывать появление морских гряд, их трансформацию, прогнозировать заиливание судоходных каналов и формирование заносов.

В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертационной работе. Основным результатом диссертационной работы заключается в построении трехмерной математической модели выхода волны на берег при наличии инженерно-технических сооружений, в усовершенствовании модели определения коэффициента вертикального турбулентного обмена, получаемого на основе корреляции результатов численного эксперимента с данными натурных измерений.

Список замечаний по диссертации и автореферату.

1. Приведенные результаты численных экспериментов не позволяют увидеть динамику изменения геометрии дна вблизи конструкций под действием волн.
2. Имеются недостатки оформления: неудачные фразы (главы 1 и 2), опечатки (например « g – напряженность гравитационного поля», стр. 14). На стр. 21-22 описана деятельность проф. Holthuijsen, но ссылка дана не на его книгу (№15), а на источник №13.
3. Приложение к диссертации (стр. 165, 166, 172, 173) содержит сканы свидетельств и сведения о регистрации программ по расчету процессов в паровой турбине, но отсутствуют ссылки на это ПО в тексте самой диссертации.
4. Среди публикаций (диссертация и автореферат) приведена ссылка на работу из журнала «Вычислительная механика сплошных сред» (2019. Т. 12. № 4. С. 435-445), где Проценко С.В. не входит в число авторов.
5. Отдельно следует отметить опечатки из-за вредоносной системы библиографических ссылок, см. например № 13, где Mellor, G. L. превратился в M.L. George.

Приведенные замечания не снижают в целом положительной оценки данной диссертационной работы.

Заключение оппонента о соответствии работы требованиям ВАК.

По теме диссертационной работы имеется большое число публикаций, в автореферате приведен список из 13 работ: 9 из базы данных Scopus и 4 из отечественных реферируемых журналов, входящих в список изданий, рекомендованный ВАК. В диссертации содержатся сканы 8 свидетельств о разработанном программном обеспечении. Результаты, полученные в рамках диссертационного исследования, апробированы на научных конференциях и семинарах.

Тема исследований диссертационной работы **соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.18**: п.1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений; п.3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий; п.4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Проценко С.В. представляет собой выполненное на профессиональном уровне научное исследование на актуальную тему, в которой получены новые результаты, имеющие научно-практическую ценность. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Проценко Софья Владимировна – заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой теоретической
и компьютерной гидроаэродинамики
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Южный федеральный университет»

В.Г. Цибулин

21.12.2021

Подпись Цибулина Вячеслава Георгиевича заверяю

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

Почтовый адрес: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42

тел./такс +7 (863) 218-40-00, доб. 10037

e-mail: vgcibulin@sfedu.ru vtsybulin04@gmail.com

сайт: <https://sfedu.ru/en/person/vgcibulin>



*Колесников С. М.
зам. дир. по науч.
и иннов. политике*