

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной работе
федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
проблем механики им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук (ИПМех РАН)
Карев Владимир Иосифович

« 22 » 12

2021 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

**федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук (ИПМех РАН)**

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

Актуальность темы диссертации обусловлена тем, что оценка гидродинамического волнового воздействия на берегозащитные конструкции и прибрежные сооружения является важнейшей задачей проектирования береговой инфраструктуры. Для описания данных процессов необходимо строить комплексы взаимосвязанных пространственно-трехмерных моделей гидродинамики, которые при пространственном разрешении в десятки–сотни метров приводят к необходимости решать вычислительно-трудоемкие задачи, включающие несколько десятков и более миллионов сеточных уравнений для многих тысяч шагов по времени, и строить параллельные алгоритмы, сохраняющие высокую вычислительную эффективность для многих тысяч вычислительных ядер. Несмотря на обширные экспериментальные и теоретические исследования в области изучения гидродинамических волновых процессов, протекающих в береговой зоне водоема,

эффективность предлагаемых подходов недостаточна для решения практических задач.

Научная новизна полученных результатов и выводов заключается в построении трехмерной математической модели волновых процессов, которая учитывает влияние вертикальной структуры процессов турбулентного перемешивания. В работе изучено влияние отфильтрованных «подсеточных» структур на длинноволновые структуры турбулентного потока, разрешаемые в рамках подхода LES (Large eddies simulation), выбрана полуэмпирическая подсеточная модель наилучшая по значениям среднеквадратичного отклонения от натурных данных, 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 сравнение полученных распределений, выбор и корректировка наилучшей параметризации. В диссертации проведено аналитическое исследование дискретной модели, построенной на прямоугольной сетке с учетом функции частичной заполненности ячеек средой, доказана ее монотонность, устойчивость и консервативность. В работе предложен новый симметризованный вариант попеременно-треугольного итерационного метода, проведено его сравнение с базовым алгоритмом адаптивного попеременно-треугольного итерационного метода (АПТИМ) для решения сеточных уравнений с несамосопряженным оператором. Построен программный комплекс, позволяющий моделировать гидродинамические процессы с учетом выхода волны на берег при наличии берегозащитных сооружений.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации. В работе применялись математически обоснованные методы. Методами теории разностных схем выполнена дискретизация непрерывной трехмерной модели гидродинамики, исследование ее устойчивости и консервативности. Результаты численных расчетов согласуются с натурными данными, в том числе, с полученными экспедиционными данными для Азовского моря.

Обоснованность и достоверность результатов, полученных в рамках диссертационного исследования, подтверждается в том числе тем, что они широко представлялись и обсуждались на многих международных и всероссийских научных конференциях и семинарах, в том числе на Международной конференции «Методы вычислений и математическая физика (10 – 15 августа 2020, Сочи, Россия), Международной научно-технической конференции «Суперкомпьютерные дни в России 2020» (23 сентября 2020, Москва, Россия), IV Всероссийской конференции

«Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития» (16–17 декабря 2020, Санкт-Петербург, Россия) и др.

Публикация результатов в печати. По теме диссертационной работы опубликована 51 работа, в том числе 12 статей в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, и 10 – в отечественных реферируемых журналах, входящих в список изданий, рекомендованный ВАК; получены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Количество и уровень публикаций существенно превышают принятые для кандидатских диссертаций требования.

Практическая и теоретическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в том, что в ней построена и проанализирована трехмерная математическая модель волновых процессов, учитывающая влияние вертикальной структуры процессов турбулентного перемешивания (см. выше пункт «Научная новизна полученных результатов и выводов»). Практическая же значимость состоит в том, что разработанный программный комплекс под управлением MPI, содержащий параллельные модули, реализующие наиболее трудоемкие с точки зрения временных затрат вычислительные блоки, предназначен для решения важных практических задач: во-первых, для того, чтобы в оперативном режиме осуществлять предсказательное моделирование неблагоприятных и опасных явлений, связанных с возникновением волн большой высоты в прибрежной зоне и их воздействием на объекты прибрежной инфраструктуры в оперативном режиме, а во-вторых, для оценки долговременных последствий (на временном интервале многие месяцы–годы) волнового воздействия на рельеф дна и объекты береговой инфраструктуры. При этом уровень реализации программного комплекса оказался достаточным для того, чтобы, как указано в диссертационной работе, полученные в ней результаты были приняты к использованию в ФГУП «РОСМОРПОРТ» Азовском бассейновом филиале для анализа распространения взвешенных веществ вследствие волнового воздействия в ходе проведения дноуглубительных работ на Таганрогском подходном канале для обеспечения контроля технического состояния и работоспособности ТПК, а также в АО «РОСТОВСКИЙ ПОРТ» для анализа волнового воздействия на инженерно-технические сооружения (берегозащитные сооружения, волноломы, дамбы, молы, пирсы, причалы), расположенные на территории и акватории морского порта, для обеспечения контроля технического состояния и работоспособности портовых сооружений.

Замечания по диссертационной работе.

1. Несмотря на то, что в пятой главе диссертационной работы выполнены детальные вычислительные эксперименты, связанные с силовым воздействием на различные типы берегозащитных сооружений (одиночный волнореза, гребенка бун, волноотбойная стена), результаты сравнения с экспериментальными данными не приводятся.
2. Ветровое волнение, являющиеся наиболее распространенным в морских системах, носит стохастический характер, то есть амплитуды, длины (частоты) волн, а также фазовые характеристики ветровых волн являются случайными функциями. Целесообразно было бы отразить это в тексте диссертации и учитывать этот фактор в дальнейших исследованиях.
3. На рис. 3.2. «Рассчитанные эпюры давления» отсутствуют легенда и обозначения осей. Рисунок 5.15. «Изменение функции рельефа дна» не позволяет проанализировать динамику изменения геометрии дна, образования структур и наносов под действием волн.

Заключение о диссертации. Приведенные выше замечания не снижают высокой положительной оценки данной диссертационной работы. Данная работа представляет собой целостное научное исследование на актуальную тему, в котором приведен ряд новых результатов, связанных с математическим моделированием волновых процессов. Результаты, полученные в диссертации Проценко Софьи Владимировны представляют научную ценность и вносят вклад в развитие современных численных методов исследования волновых процессов.

Диссертационная работа написана понятным, профессиональным языком. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа Проценко Софьи Владимировны, удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв подготовлен членом-корреспондент РАН, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН) Назайкинским Владимиром Евгеньевичем.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Лаборатории механики природных катастроф федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН).

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН)

Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences (IPMech RAS)

Адрес: 119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1.

Тел.: +7-495-434-00-17

Электронная почта: ipm@ipmnet.ru

Сайт: <http://www.ipmnet.ru>

Зав. лабораторией механики природных катастроф
доктор физико-математических наук,
профессор

Доброхотов
Сергей Юрьевич
22.12.2021г.

Гл. научный сотрудник лаборатории механики природных катастроф,
член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук

Назайкинский
Владимир Евгеньевич
21.12.2021

Подпись Доброхотов С. Ю. и Назайкинского заверяю
Ученый секретарь
ИПМех РАН М.А. Кото

