

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу Булатова Олега Витальевича «Численное моделирование течений в приближении мелкой воды на основе регуляризованных уравнений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

В диссертации О.В. Булатова излагаются результаты исследований, направленных на совершенствование численных алгоритмов для описания нестационарных течений несжимаемой жидкости, рассматриваемых в приближении «мелкой воды». Указанное приближение упрощает исходные уравнения и позволяет описывать движение жидкости со свободной поверхностью в поле силы тяжести для случаев, когда глубины водоемов не велики, и вертикальной составляющей скорости можно пренебречь.

В диссертационной работе строятся регуляризованные, или сглаженные уравнения мелкой воды (МВ) путем использования процедуры осреднения исходных уравнений МВ по малому интервалу времени. Далее сглаженные уравнения МВ используются для построения новых численных алгоритмов решения уравнений МВ на регулярных и неструктурированных пространственных сетках. Алгоритм позволяет описывать течения над сложной подстилающей поверхностью, включая разрывные профили дна, такие как ступеньки и уступы. Построено и верифицировано обобщение численного алгоритма для математического моделирования течений, в которых возможно формирование подвижных областей с нулевым уровнем жидкости – так называемых зон сухого дна. Созданные программы имеют блочную структуру, что позволяет их дальнейшее развитие и адаптацию к широкому кругу новых задач.

На основе созданных программ решены задачи о течении цунами и проведено численное моделирование нестационарного отрывного течения, возникающего при распространении волны прорыва при разрушении шлюзовой камеры. Результаты расчетов этих двух задач хорошо описывают данные экспериментов, полученных на установках, являющихся прототипами реальных береговых структур и сооружений. Полученные в работе результаты демонстрируют преимущества численных алгоритмов, основанных на сглаженных уравнениях МВ, такие как простота реализации, точность, монотонная сходимость к эталонному решению, однородность и возможность адаптации к параллельным вычислительным системам.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений, в которых изложены расширения и усовершенствования изложенного в основных главах алгоритма и его дополнительное тестирование. Все полученные результаты являются новыми, подробно описаны и снабжены схемами, таблицами и иллюстрациями.

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, посвященное актуальной проблеме современной вычислительной гидродинамики, содержащее вывод осредненных уравнений мелкой воды, разработку и тестирование численного алгоритма, основанного на этой системе уравнений, его программную реализацию и решение двух прикладных задач.

За время обучения в аспирантуре Олег Витальевич Булатов проявил себя как целеустремленный, настойчивый и самостоятельно мыслящий ученый. Он успешно преодолел все трудности, связанные освоением новых для него областей исследований, продемонстрировал прекрасное владение аппаратом математического анализа, блестящую квалификацию программиста и понимание физики рассматриваемых им задач. Его работа была поддержана грантами РФФИ 10-01-00136 и 13-01-00703а. Написанные им программы использовались другими авторами для решения прикладной задачи о колебании жидкого топлива, перевозимого в грузовых емкостях ледокола.

По теме диссертации опубликована статья в журнале «Вестник МГУ», одна статья в журнале «Computer and Fluids», две статьи в журнале «Вычислительная математика и математическая физика» и препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Всего по теме диссертации опубликовано 7 научных работ, включая расширенные тезисы международных конференций. Полученные результаты О.В. Булатов докладывал на научных конференциях и семинарах. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

Данная диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к кандидатским диссертациям, а ее автор, Олег Витальевич Булатов, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Доктор физико-математических наук  
профессор

\_\_\_\_\_ Т. Г. Елизарова

Подпись удостоверяю:

ученый секретарь ИПМ им. М.В.Келдыша РАН  
кандидат физико-математических наук

\_\_\_\_\_ А. И. Маслов