

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертационной работе
Ковтуненко Павла Викторовича

«Распространение длинноволновых возмущений в пространственно-неоднородном движении жидкости», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — «Механика жидкости, газа и плазмы»

Ковтуненко Павел Викторович обучается под моим руководством в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН), работает по совместительству в Новосибирском государственном университете в должности инженера лаборатории нелинейных процессов в гидродинамических системах.

Тематика диссертационной работы П. В. Ковтуненко связана с построением и теоретическим анализом математических моделей распространения нелинейных волновых возмущений в сдвиговых течениях тонкого слоя жидкости. Теория мелкой воды и ее расширение на случай пространственно-неоднородных течений является важным и активно развивающимся разделом гидромеханики и математической физики. Актуальность этой тематики обусловлена многочисленными приложениями длинноволнового приближения при моделировании крупномасштабных явлений в атмосфере и океане, имеющим практические приложения в метеорологии и геофизике. Длинноволновые модели играют важную роль в задачах гидродинамики открытых русел, гидродинамических проблемах транспортировки нефти и природного газа, в задачах гидроаэроупругости, связанных с конструированием судов и плавающих платформ. При этом математические модели, описывающие сдвиговые движения тонкого слоя жидкости, являются нелинейными и интегродифференциальными, что существенно усложняет их теоретический анализ и требует применения современных методов исследования. Разработанные в последнее время подходы к изучению систем уравнений с операторными коэффициентами и развитие теории многослойной мелкой воды с массообменом позволили продвинуться в понимании основных закономерностей протекания нелинейных волновых процессов в сдвиговых течениях. Отметим, что принципиальные результаты в разработке и применении указанных методов получены в работах В. М. Тешукова, В. Ю. Ляпидевского и других сотрудников Теоретического отдела ИГиЛ СО РАН.

Перед докторантом была поставлена задача исследовать свойства нелинейных интегродифференциальных моделей, описывающих горизонтально-сдвиговые движения идеальной жидкости в открытом канале, течения тонкого слоя вязкой жидкости со свободной границей на наклонной плоскости, а также уравнений, описывающих формирование вихревых структур в течениях Хеле–Шоу. Во всех рассмотренных задачах ставилась цель численного моделирования течений, иллюстрирующих полученные теоретические результаты. В ходе выполнения работ П. В. Ковтуненко за-

рекомендовал себя в качестве самостоятельного и увлеченного исследователя, специалиста в области теоретической и вычислительной гидродинамики. Остановимся подробнее на результатах диссертационной работы.

Для интегродифференциальной системы уравнений, описывающей горизонтально-сдвиговые движения идеальной несжимаемой жидкости в узком открытом канале в приближении теории мелкой воды, построены и физически интерпретированы классы точных решений. Среди них, класс решений с линейно-зависимыми интегральными инвариантами Римана, сводящийся к решению гиперболической системы двух дифференциальных уравнений для скоростей жидкости на боковых стенках канала. В классе бегущих волн получены решения с функциональным произволом, описывающие движения жидкости с критическим слоем, в котором скорость жидких частиц совпадает со скоростью распространения волны. Такие решения представляют существенный интерес в ряде прикладных задач. При этом наличие функционального произвола позволяет моделировать весьма разнообразные режимы течения, в том числе периодические. Проведен анализ устойчивости течений в терминах проверки условий гиперболичности интегродифференциальной модели.

Существенное внимание удалено исследованию свойств нелинейных интегродифференциальных уравнений, описывающих движение тонкого слоя вязкой жидкости со свободной границей на наклонной плоскости (пленочные течения). Установлено, что уравнения движения допускают решения со слабыми разрывами, сосредоточенными на характеристиках. Выведено уравнение для эволюции амплитуды слабого разрыва, анализ которого показал возможность образования градиентной катастрофы и формирования сильного разрыва. Предложена консервативная формулировка интегродифференциальной модели, а также аппроксимирующая “многослойная” система дифференциальных законов сохранения. Выполнено численное моделирование пленочных течений на основе уравнений многослойной аппроксимации и с использованием бездисперсионной модели Шкадова, полученной осреднением в предположении параболического профиля скорости по глубине. Показано, что при формировании сильного разрыва (обрушения волны) наблюдается заметное отличие в результатах расчета по указанным моделям, что, в частности, обусловлено трансформацией профиля скорости и его отличием от параболического вида. Рассматриваемая модель обобщена на более сложный класс течений, в которых вязкость не является постоянной величиной.

Другое направление исследований связано с моделированием движения вязкой жидкости в щели между параллельными стенками (течения Хеле–Шоу). Основной целью являлось построение достаточно простой математической модели способной с хорошей точностью определить границы слоя смешения, формирующегося на границе раздела двух потоков жидкости движущихся с различными скоростями. Выведены двумерные уравнения движения, полученные осреднением по толщине ячейки в предположении параболического распределения скорости. Далее, с использованием трехслойной схемы течения с массообменом, выведена система одномерных уравнений, описывающая эволюцию слоя смешения. Выполненные численные расчеты слоя смешения по 2D и 1D моделям. Установлено, что предложенная 1D модель кор-

ректно описывает границы области формирования крупных вихревых структур, что позволяет получить информацию о характере течения без затратных по времени двумерных нестационарных расчетов.

Достоверность перечисленных результатов подтверждается строгими математическими выкладками, тестовыми расчетами и сравнением с работами других авторов. Основные результаты докторской работы прошли процедуру рецензирования и опубликованы в 4 статьях (из них 2 без соавторов) в журналах, рекомендованных ВАК. Докторант принимает участие в выполнении проектов РНФ и РФФИ, гранта для государственной поддержки Ведущих научных школ РФ. Результаты докторской работы в полном объеме докладывались на объединенном семинаре в ИГиЛ СО РАН, неоднократно представлялись на международных и российских конференциях, а также на научных семинарах в МИАН, ИТПМ СО РАН, ИМ СО РАН и ИВМ СО РАН.

Считаю, что представленная к защите докторская диссертация «Распространение длинноволновых возмущений в пространственно-неоднородном движении жидкости» удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским докторским диссертациям, а ее автор Ковтуненко Павел Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — «Механика жидкости, газа и плазмы».

Научный руководитель

Заведующий лабораторией нелинейных
процессов в гидродинамических системах
Новосибирского государственного университета

д.ф.-м.н.
(01.02.05 – «Механика
жидкости, газа и плазмы»)

Чесноков Александр Александрович

630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

Тел. 8(383)3332013, 89139258926

E-mail: chesnokov@hydro.nsc.ru

Подпись А. А. Чеснокова заверяю
Ученый секретарь НГУ

к.х.н.

17.04.2017



Е. А. Тарабан