

**Отзыв научного руководителя о диссертационной работе Глотова В.Ю. «Математическая модель свободной турбулентности на основе принципа максимума», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико – математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.**

Вычислительная гидродинамика имеет дело преимущественно с турбулентными течениями, к которым можно отнести вихревые потоки с вихрями всех масштабов, вплоть до колмогоровских. При больших числах Рейнольдса, характерных для промышленных приложений, диссипативный масштаб столь мал, что вопрос о его разрешении рассматривается только теоретически. Для практического описания таких течений используются различные модельные представления, т.н. «модели турбулентности». Разработка адекватных и эффективных математических моделей турбулентности в настоящее время относится к разряду актуальных научно - технических задач.

Математическое моделирование турбулентных течений имеет богатую историю. Прежде всего, следует отметить т.н. RANS – модели, когда решаются не исходные уравнения Навье-Стокса, а т.н. уравнения Рейнольдса, описывающие установившиеся поля осредненных гидродинамических параметров. Затем идут т.н. LES – приближения, когда за основу принимаются нестационарные уравнения, отличающиеся от уравнений Эйлера наличием дополнительных членов, приближенно описывающих уход вихревого энергетического каскада на «подсеточный уровень». При этом крупные вихри, разрешаемые на расчетной сетке, описываются достаточно аккуратно, а модельные диссипативные члены обеспечивают нужный отток кинетической энергии от мелких вихрей, приводящий к желательным спектральным характеристикам.

Среди множества LES – моделей турбулентности выделяются т.н. неявные (Implicit LES) модели, в которых модельная диссипация не вводится явно в исходную дифференциальную систему уравнений, а привносится в вычислительный алгоритм (разностную схему) посредством надлежащей нелинейной коррекции потоков. Именно к этому направлению и относится данная диссертационная работа.

Таким образом, задача состояла в том, чтобы подобрать как исходную разностную схему, так и алгоритм нелинейной коррекции потоков, такие, чтобы они адекватно описывали инерционный интервал свободной турбулентности вплоть до самых мелких вихрей, представимых на заданной расчетной сетке.

Поставленная задача решалась на примере простейшего объекта математического моделирования – однородной изотропной турбулентности.

Численному моделированию однородной изотропной турбулентности посвящено огромное количество работ. Динамика ее затухания (без форсинга) и стационарные характеристики (с форсингом) всегда исследуются в ограниченных областях в предположении периодичности по всем границам. Помимо трехмерной (колмогоровской) турбулентности выделяют также двухмерную (Бачеллор, Сэфман), и даже одномерную турбулентность (т.н. «бюргулентность»). Двумерный и одномерный случаи часто подвергаются критике как несуществующие в природе, хотя двумерная турбулентность в последние годы и наблюдается в физических экспериментах. В данной работе однородная изотропная турбулентность в трех, двух и одном пространственных измерениях рассматривается как математический объект с известными статистическими свойствами, на котором производится юстировка разрабатываемой математической модели свободной турбулентности.

Исходной точкой для построения математической модели стал выбор базового вычислительного алгоритма (разностной схемы). Основным требованием к исходному

алгоритму стала его минимальная внутренняя (схемная) диссипация и максимально компактный вычислительный шаблон. Среди схем второго порядка точности этим требованиям удовлетворяют только две схемы – это схема КАБАРЕ и схема «крест» (LeapFrog). Схема КАБАРЕ хорошо зарекомендовала себя в случае сжимаемых сред (в ударно-волновых и аэроакустических задачах) и ее нужно было обобщить на случай несжимаемой жидкости. Схема «крест» нуждалась в обобщении на неравномерные пространственно – временные расчетные сетки с сохранением бездиссипативности и консервативности. Обе эти задачи автором диссертации были успешно решены.

Далее, нужно было сконструировать сеточный диссипативный механизм, который сохранял бы статистические характеристики турбулентных течений в инерционном интервале для вихрей всех размеров, представимых на заданной расчетной сетке.

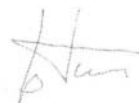
Исходным было предположение, что таким механизмом может оказаться нелинейная коррекция потоков на основе принципа максимума, предложенная ранее для схемы КАБАРЕ для обеспечения монотонности газодинамических течений. И оно в полной мере подтвердилось.

В процессе работы над диссертацией Глотовым В.Ю. были построены новые вычислительные алгоритмы, написаны и отлажены комплексы программ (ориентированные на многопроцессорный вычислительный комплекс «Ломоносов»), и на задачах об однородной изотропной турбулентности отработана новая высокоэффективная математическая модель для расчета свободно турбулентных течений, относящаяся к классу ImplicitLES.

Все новые результаты, вынесенные на защиту, получены соискателем самостоятельно и опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК. В настоящее время они используются в ИБРАЭ РАН при расчетах перемешивания турбулентных затопленных струй водорода под защитным куполом АЭС при вероятностном анализе безопасности.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК по специальности 05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а ее автор, Глотов Вячеслав Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико – математических наук.

Научный руководитель,  
д.ф.-м.н., профессор



Головизнин В.М.