

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Соломатина Романа Сергеевича
«Численное моделирование процессов высокоскоростного
смешения и горения в неоднородных топливо-воздушных смесях»,
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.2.2 — математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ

Диссертация Р.С. Соломатина посвящена актуальной теме — численному моделированию горения в сверхзвуковом потоке. Работа включает построение математической модели, описывающей процессы смешения высокоскоростных потоков топлива и окислителя, воспламенения топлива и его горения. Для описания турбулентного смешения используется гибридный вихререзающий подход, сочетающий, в так называемой IDDES (Improved Delayed Detached Eddy Simulation) формулировке, метод крупных вихрей и решение осредненных уравнений. В качестве полуэмпирической модели турбулентности применяется известная модель Спаларта-Альмараса. Само горение водородного топлива описывается с помощью детального химического механизма, включающего и реакции, скорость которых зависит не только от температуры, но и от давления.

Разработанная модель была затем реализована автором в виде вычислительных алгоритмов и расчётных модулей, интегрированных в программный комплекс для моделирования течений реагирующих газовых смесей на многопроцессорных ЭВМ. Поскольку уравнения, описывающие турбулентное горение, включают жёсткие члены, особое внимание было уделено программной реализации современных неявных схем интегрирования по времени. Было проведено большое количество верификационных и валидационных расчетов.

В качестве применения программного комплекса автором было выполнено численное моделирование камеры сгорания, через которую продувается сверхзвуковой поток воздуха и подаётся из форсунки водород. Выполнено сравнение с экспериментальными данными и численными результатами других авторов, получено хорошее согласие.

Таким образом, работа включает все три компонента, обычно требуемые от диссертаций по данной специальности — разработку вычислительных алгоритмов, их реализацию в виде расчётных программ и собственно численное моделирование. Диссертация производит очень хорошее впечатление. Численное моделирование турбулентного смешения и горения — сложная задача. Привлекает то, что при ее решении автор всюду использует наиболее передовые, современные подходы. Судя по представленным в автореферате результатам, ему удалось создать программный комплекс, который может быть как успешно использован при решении научно-исследовательских задач, так и найти применение во многих практических приложениях.

У меня нет серьёзных замечаний по сути работы. Небольшие претензии можно высказать по поводу оформления автореферата: в нем встречаются опечатки («теоритическими»), нестандартные названия («обратная схема Эйлера» — очевидно о неявном методе Эйлера), нерасшифрованные аббревиатуры (ФДН-метод Гира — очевидно о формулах дифференцирования назад). Рис. 3 мало что говорит о величине диссипации рассматриваемых схем без информации о числе узлов сетки, на которой

производились расчёты. Вызывают вопрос приведённые после системы уравнений (1) выражения для внутренней энергии и энтальпии в виде $c_v T$ и $c_p T$, соответственно: неужели при моделировании горения теплоёмкости принимались не зависящими от температуры? Отмечу, что далее, на стр. 11, сказано: «для теплоёмкости и энтальпии используется полиномиальная зависимость от температуры».

Эти мелкие недочёты, разумеется, не снижают моей оценки данной диссертационной работы. На мой взгляд, полученные в диссертации результаты являются важным шагом в разработке эффективных и надёжных численных инструментов для моделирования горения в высокоскоростных потоках. Можно не сомневаться, что эти они найдут применение в важных практических приложениях. Считаю, что диссертационная работа полностью соответствует специальности 1.2.2 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а также требованиям Положения о присуждении учёных степеней. Уверен, что автор диссертации, Соломатин Роман Сергеевич, заслуживает присуждения ему искомой степени.

Отзыв на автореферат обсуждён и одобрен на семинаре Лаборатории вычислительной аэродинамики ИТПМ СО РАН (протокол №20 от 15.11.2022).

Старший научный сотрудник
ИТПМ СО РАН, д.ф.-м.н.

17.11.2022 г.

Кудрявцев Алексей Николаевич,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Лаборатории вычислительной аэродинамики
Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича Сибирского отделения
Российской академии наук
Тел. (383) 330-42-68
E-mail: admin@itam.nsc.ru
<http://www.itam.nsc.ru>
630090, г. Новосибирск,
ул. Институтская, 4/1



/Кудрявцев А.Н./

Собственноручную подпись
удостоверяю
Зав. канцелярией Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича Сибирского отделения
Российской академии наук

