

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Способина Андрея Витальевича на тему «Численное моделирование обтекания тел сверхзвуковыми потоками с твердыми частицами», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Численное моделирование обтекания тел сверхзвуковыми газодисперсными потоками представляет интерес для многих аэрокосмических и технических приложений как с точки зрения более глубокого понимания структуры потока и прогнозирования его воздействия на обтекаемое тело, так и с точки зрения выявления и сравнительной оценки роли различных физических механизмов, влияющих на взаимодействие дисперсной фазы с несущим потоком и с обтекаемой поверхностью. Таким образом, тема диссертация является актуальной.

В работе представлена комплексная физико-математическая модель двухфазного ударного слоя, включающая модели силового и энергетического взаимодействия дисперсной и несущей фаз, столкновения частиц друг с другом и с обтекаемой поверхностью (включая эрозионное разрушение последней), радиационного теплообмена между дисперсной фазой и обтекаемой поверхностью. Особенностью разработанной модели является прямой учет всех последовательных столкновений движущихся частиц (или частиц-представителей) без привлечения приближенных статистических оценок, обычно используемых при «розыгрыше» столкновений по методу Монте-Карло.

Разработанная модель реализована в виде набора программ, позволяющих проводить расчет обтекания тел сверхзвуковым полидисперсным запыленным потоком, а также моделировать движение отдельных высокоинерционных частиц в сверхзвуковом ударном слое, в т.ч. в полной трехмерной постановке. Особое внимание уделено параллелизации вычислений с использованием графических процессоров.

С помощью разработанных программных средств решен ряд модельных задач обтекания затупленного тела сверхзвуковым запыленным потоком. Исследовано влияние различных факторов (столкновения частиц, их вращение, обратное влияние примеси на несущий поток, радиационный теплообмен и др.) на течение в целом, а также на динамическое и тепловое воздействие на обтекаемую поверхность. Проведены расчеты движения высокоинерционных частиц в сверхзвуковом ударном слое (в т.ч. с выходом за его пределы); продемонстрировано возникновение колебательных режимов с высокоамплитудными пульсациями давления и теплового потока на обтекаемой поверхности; исследовано взаимное влияние частиц.

По содержанию автореферата имеется ряд вопросов и замечаний.

1) При описании используемых математических моделей автор ограничивается записью соответствующих формул, не уделяя должного внимания обоснованию выбора данной модели и/или области ее применимости. В частности:

1а) Не поясняется, почему в уравнениях движения несущего газа (в частности, в уравнении неразрывности, стр.8 автореферата) не учитывается вытесняющее действие (объемная доля) дисперсной фазы. При этом в автореферате отсутствуют какие-либо данные о полученных в расчетах значениях локальной концентрации частиц вблизи поверхности обтекаемого тела, что не позволяет судить о правомочности принятого упрощения.

1б) Отсутствует пояснение и того, почему не учитывается нагрев частиц при их столкновении со стенкой (принимается, что вся выделившаяся энергия «уходит» в стенку). Также неясно, учитывается ли нагрев частиц при их столкновении друг с другом (в сверхзвуковом потоке такой нагрев может быть значительным).

2) По материалам второй главы сделан весьма расплывчатый вывод о возможной недооценке величины динамического воздействия примеси на поверхность при использовании статистических методов Монте-Карло. Конкретно границы применимости метода Монте-Карло (хотя бы по величине начальной концентрации частиц, если другие параметры в расчетах не варьировались) в работе не очерчиваются.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«13» 03 2023.

3) Предложенная в гл.3 модель, напрямую учитывающая обратное влияние на поток изменения формы тела вследствие его эрозионного разрушения, по крайней мере на первый взгляд, выглядит надуманной, поскольку весьма затруднительно представить себе реальную ситуацию, отвечающую параметрам рассмотренного примера (рис.3.4), в котором за время расчета (вероятно, несколько гидродинамических времен) эрозия в лобовой части цилиндра превысила 20% начального радиуса.

Высказанные замечания не затрагивают существа работы, которая представляет собой комплексное исследование по актуальной проблеме газовой динамики запыленных потоков. Диссертация обладает несомненным внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение в области численного моделирования сверхзвуковых газодисперсных потоков. Результаты исследования опубликованы в 25 рецензируемых изданиях из Перечня ВАК и прошли апробацию на многочисленных российских и международных конференциях и семинарах.

Считаем, что диссертация Способина Андрея Витальевича «Численное моделирование обтекания тел сверхзвуковыми потоками с твёрдыми частицами», удовлетворяет требованиям (в том числе, п. 9) «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор достоин присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Смирнов Евгений Михайлович,
доктор физико-математических наук
(01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы),
профессор, профессор Высшей школы прикладной
математики и вычислительной физики СПбПУ

Зайцев Дмитрий Кириллович,
доктор физико-математических наук,
(01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы),
доцент, профессор Высшей школы прикладной
математики и вычислительной физики СПбПУ

06.03.2023

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
ВШ ПМиВФ. Тел. +7(812)2972419, aero@phmf.spbstu.ru, <https://aero.spbstu.ru>.

