

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу

Семенов Александр Николаевич “Численное моделирование малых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Семенов А. Н. пришел в ИТПМ СО РАН в 2013 году, будучи студентом третьего курса НГУ. Первая задача, поставленная перед ним, состояла в нахождении наиболее опасных возмущений с точки зрения их опережающего нарастания во времени. Применяя эволюционный метод (метод установления решения на экспоненциальную зависимость от времени) и составив собственную программу, им успешно была решена эта задача. Полученные этим методом результаты по влиянию направления вдува газа с поверхности пластины на устойчивость сверхзвукового пограничного слоя вошли в первую часть его диссертационной работы.

Вторая часть работы была связана с прямым численным моделированием (ПЧМ) взаимодействия акустических возмущений со сверхзвуковым пограничным слоем. Главным стимулом применения ПЧМ было следующее обстоятельство. В 70-х годах прошлого столетия задача о взаимодействии акустических возмущений, падающих под некоторым не равным нулю углом, была успешно решена Мэком и Гапоновым в рамках уравнений теории устойчивости. При этом, для удовлетворения условий на стенке, во внешней части пограничного слоя, наряду с падающей волной, должна присутствовать и отраженная волна. В результате решения определились коэффициенты отражения, и распределения возмущений по пограничному слою. В случае скользящей звуковой волны, волновой вектор которой параллелен поверхности пластины, теряется смысл отраженной волны, и задача не могла быть корректно поставленной в рамках классических уравнений устойчивости параллельных течений. Вторая причина применения ПЧМ состояла в уточнении результатов полученных на основе



предположения параллельности течения в пограничном слое. В последнее время ПЧМ использовалось в случаях высоких чисел Маха и, как правило, двумерных звуковых волн (волновой вектор параллелен направлению течения вне пограничного слоя). Рассмотрение двумерной акустики при высоких числах Маха обосновано задачей восприимчивости пограничного слоя (порождение нарастающих возмущений), ввиду того, что наиболее растущие возмущения при высоких числах Маха являются двумерные возмущения. Во второй части работы изложены подробные результаты по взаимодействию произвольно ориентированной акустической волны с пограничным слоем.

Один методов экспериментальных исследований линейного развития волн в сверхзвуковых пограничных слоях использует периодические во времени возмущения от источника, локализованного в пространстве. Поэтому третья глава посвящена ПЧМ развития аналогичных возмущений.

В последнее время экспериментально активно изучаются локализованные возмущения в дозвуковом пограничном слое (например, в лаборатории аэрофизических исследований дозвуковых течений ИТПМ, зав. лаб. В.В. Козлов), хотя первые эксперименты с локализованными возмущениями были проведены Гастером еще в 1975 году. В случае сверхзвукового пограничного слоя первые эксперименты такого плана были поставлены в 2013 году под руководством Косинов А. Д. Поэтому четвертая часть работы Семеновым А. Н. посвящена изучению одиночного локализованного во времени и пространстве возмущения на основе коммерческого кода ANSYS. Получено качественное соответствие результатов расчета данным эксперимента. Наблюдаемое количественное различие, в первую очередь, связано с невозможностью в теории точно описать начальные экспериментальные данные. Спектральное разложение первичных данных показало, что наиболее интенсивно усиливаются волны, углы скоса которых больше  $40^\circ$ , и находятся в качественном соответствии с классической теорией устойчивости, что



указывает на достоверность результатов расчета и предполагается использовать для описания развития возмущений в трехмерном пограничном слое, как в линейном, так и нелинейном приближениях.

По теме диссертационной работы Семеновым А. Н. опубликовано 16 работ, 8 из них входят перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени.

Следует отметить высокую степень самостоятельности и работоспособности Семенова А. Н. Он активно сотрудничает с экспериментаторами по ламинарно-турбулентному переходу сверхзвуковых течений, работы которых близки к тематике диссертации, и сопровождаются его численным моделированием. Поэтому его дополнительный список опубликованных работ содержит более 20 наименований, 16 из которых опубликованы в изданиях из перечня ВАК. Он принимал активное участие в выполнении нескольких проектов РФФИ и участвует в проекте РНФ. Таким образом, он вырос в высококвалифицированного научного работника.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа "Численное моделирование малых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое" соответствует требованиям ВАК РФ, а ее автор Семенов Александр Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Научный руководитель:

Д.ф.-м.н., профессор

Собственн  
удостовер  
Зав. канце  
бюджетног  
Института  
им. С.А. Хр  
Российской

20 г.