

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

о диссертационной работе Чувахова Павла Владимировича «Зарождение турбулентности в сверхзвуковых пограничных слоях», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертация П.В. Чувахова «Зарождение турбулентности в сверхзвуковых пограничных слоях» является законченным самостоятельным теоретическим научным исследованием, которое проведено соискателем лично, либо с его определяющим участием в постановке задач, методов их решения и анализе результатов. Диссертация выполнена в секторе вычислительной аэротермодинамики ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ЦАГИ), которое является основным местом работы соискателя с 2009, а также в лабораториях Математического моделирования нелинейных процессов в газовых средах и Аэрофизических исследований ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), где соискатель совмещает свою научно-исследовательскую деятельность и преподаёт с 2009 года.

Диссертационная работа П.В. Чувахова посвящена расчётно-теоретическому исследованию механизмов зарождения турбулентности в маломасштабных условиях сверхзвукового полёта, включая проникновение возмущений в пограничный слой (задача восприимчивости) и их дальнейшее развитие (задача устойчивости) вплоть до формирования турбулентных пятен. Работа включает семь глав, в которых даны результаты строгого аналитического анализа уравнений в рамках линейной теории устойчивости, предложены физически обоснованные модели различных явлений, а также продемонстрирована применимость и работоспособность полученных теоретических результатов и моделей с помощью прямого численного моделирования течений в рамках полных уравнений Навье – Стокса в трёхмерной постановке. Название работы полностью соответствует содержанию диссертации.

Актуальность диссертационной работы обусловлена важностью проблемы ламинарно-турбулентного перехода (ЛТП) для развития сверхзвуковой авиации с практической точки зрения, поскольку турбулизация течения приводит к росту сопротивления трения и тепловых потоков к поверхности до порядка величины. Это также подчёркивает актуальность разработки эффективных мер по ламинаризации течения над обтекаемыми поверхностями, такими как крыло сверхзвукового пассажирского самолёта (СПС). Несмотря на усилия признанных научных групп всего мира и

значительный прогресс в понимании механизмов ЛТП за последние полтора столетия, проблема ЛТП в пограничных слоях до сих пор не решена. Для сверхзвукового пограничного слоя информации существенно меньше, чем на дозвуковых скоростях. Поэтому диссертация П.В. Чувахова является не только актуальным, но и важным научным исследованием.

Опираясь на линейную теорию устойчивости и прямое численное моделирование в рамках полных уравнений Навье–Стокса, Чувахов П.В. получил ряд новых результатов, которые имеют фундаментальную и прикладную значимость. Он предложил и обосновал универсальные подходы к верификации вычислительных кодов для моделирования процессов ЛТП при сверхзвуковых скоростях, а также развил новый подход к экономичному моделированию эволюции возмущений. Этот подход применён в ходе решения остальных задач диссертации. В частности, П.В. Чувахов впервые численно подтвердил и исследовал явление спонтанного излучения акустических волн второй модой сверхзвукового пограничного слоя, которое ранее лишь предполагалось теоретически. Далее соискатель детально исследовал механизмы развития возмущений над углами разрежения и продемонстрировал стабилизирующее влияние угловых конфигураций на развитие малых возмущений и впервые показал, что существенно нелинейные образования (турбулентные пятна) не затухают в следствие резкого разрежения потока, а лишь испытывают задержку в их развитии. Вслед за этим исследована устойчивость течений с плавным расширением потока, которое свойственно обтеканию прямых крыльев СПС. В поисках практического применения полученных фундаментальных результатов Чувахов впервые обосновал, что меры по ламинаризации обтекания таких крыльев необходимо применять не по всей поверхности, а лишь на её передней части. Там же предложены модели взаимодействия сверхзвукового пограничного слоя над крылом с атмосферной турбулентностью, акустическими волнами и микрочастицами и количественно обосновано, что ЛТП на прямых крыльях СПС наиболее вероятно обусловлен акустическим шумом от турбулентного пограничного слоя на фюзеляже. Соискатель также подчёркивает важную роль микрочастиц в процессе ЛТП при определённых условиях, которые могут сформироваться в полёте. В связи с этим он разрабатывает новый численный подход к моделированию восприимчивости к микрочастицам и верифицирует его на теоретической модели количественно без каких-либо дополнительных предположений, а в заключении предлагает подход к моделированию ЛТП, вызванного микрочастицами. Следует особо подчеркнуть, что П.В. Чувахов уделяет внимание вопросам верификации получаемых результатов на протяжении всей диссертации.

