

РАСЧЕТ ВОДНОСТИ В МЕСТАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ДАТЧИКОВ НА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НОСОВОЙ ЧАСТИ ФЮЗЕЛЯЖА ВОЗДУШНОГО СУДНА

А.А. Аксенов¹, А.А. Бабулин², М.Э. Березко²,
П.М. Бывальцев¹, Н.С. Кураносов¹, В.И. Шевяков²

¹ООО «ТЕСИС», Москва, andrey@tesis.com.ru

²Филиал ПАО «Яковлев» – «Региональные самолеты», Москва,
aa_babulin@sj.yakovlev.ru

Обеспечение безопасной эксплуатации воздушного судна (ВС) в условиях обледенения – одна из важных задач при аэродинамическом проектировании. Надежная работа датчиков системы воздушных сигналов (СВС) лежит в основе обеспечения безопасности полетов. К работоспособности датчиков СВС в условиях обледенения предъявляются жесткие требования, выполнение которых подтверждается соответствующими сертификационными стендовыми испытаниями. Условия испытаний каждого датчика определяются параметрами потока в месте его размещения на внешней поверхности ВС. Таким образом, необходимость обеспечения безопасной эксплуатации ВС приводит к задаче численного моделирования распределения водности потока в условиях обледенения в местах предполагаемого размещения датчиков СВС.

В данной работе эта задача решается с использованием модуля расчета обледенения IceVision [1], разработанного на базе программного комплекса FlowVision [2]. Рассматривается задача определения распределения водности вдоль нормалей к поверхности передней части фюзеляжа в предполагаемых местах размещения восьми датчиков при определенных условиях обледенения, характеризующихся сочетанием полетных и климатических параметров (число Маха M , высота H , угол атаки α , водность LWC, монодисперсный состав капель с диаметром D_k) в условиях стандартной атмосферы (с давлением P и температурой T).

Моделируется течение воздушно-капельной среды со 100%-ой относительной влажностью. Для газообразной среды (воздух + водяной пар) интегрируется система уравнений, состоящая из уравнений неразрывности, движения, энергии и переноса массовой

доли водяных паров, записанных в консервативной форме. Последнее из уравнений моделирует массоперенос в форме перемешивания воздуха и водяного пара.

Для моделирования потока капель используется Эйлеров подход. Интегрируются уравнения для концентрации капель, переноса импульса и переноса энергии частиц. Массоперенос между газообразной средой и жидкими каплями в виде испарения последних и конденсации пара в задаче не учитываются. Взаимодействие между газовой фазой и жидкими каплями осуществляется через обмен импульсом и энергией, а сама воздушно-капельная среда состоит из двух взаимопроникающих континуумов.

Важно отметить, что для численного интегрирования уравнений используются разностные схемы со 2-м порядком аппроксимации. Как показывает практика эксплуатации пакета FlowVision, использование для капельной среды разностной схемы 1-го порядка точности в задачах обледенения дает удовлетворительные результаты. А в расчетах водности в окрестности обтекаемых тел использование аналогичного подхода приводит к большим ошибкам и не рекомендуется для применения.

На границах расчетной области задаются следующие граничные условия (ГУ, далее названия ГУ следуют в терминологии FlowVision): на входной границе и боковине цилиндра (расчетной области) ставятся «неотражающие» ГУ, на плоскости симметрии «симметричные» ГУ, а на выходной границе задается вычисляемое в ходе самого расчета распределение статического давления и условий нулевой производной по направлению течения остальных искомых переменных. Реализованное на выходной границе ГУ для давления в конечном итоге можно также трактовать как условие нулевой производной по направлению течения.

Для расчета течения используется адаптированная по поверхности фюзеляжа система вложенных сеток до 3-го уровня адаптации с количеством слоев на фюзеляже 30x28x28, определяющих размер сетки 18,81 млн ячеек (рис. 1,а). В целях повышения точности результатов строится дополнительная (4-ая) адаптация сетки по пространству по заданному диапазону градиента водности, охватывающая 4-е из 5-и рассматриваемых точек размещения датчиков (рис. 1,б). В результате итоговый размер сетки составляет 32,24 млн ячеек.

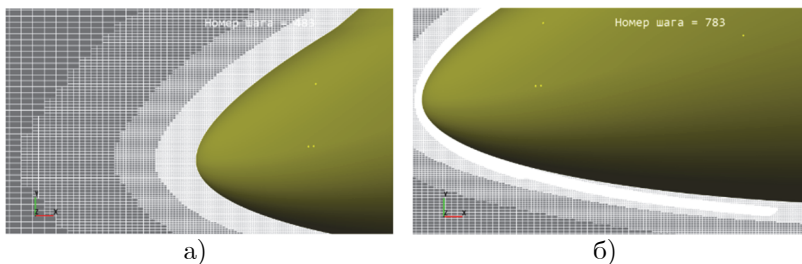


Рис. 1. Расчетная сетка: а) с 3-мя уровнями адаптации; б) с дополнительным 4-м уровнем адаптации

Верификация численного подхода осуществляется путем сопоставления результатов с данными, полученными с помощью Ansys FENSAP ICE на тестовой задаче по определению водности в окрестности профиля NACA 0012 в 3-х выбранных точках. Качественно результаты близки. Имеющиеся же количественные отличия результатов обусловлены различием типов и разрешающих способностей использованных расчетных сеток (рис. 2).

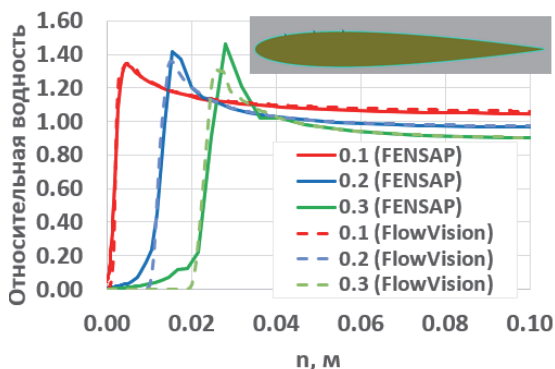


Рис. 2. Сравнение результатов, полученных по FlowVision и FENSAP ICE

Полученные результаты расчетов водности в окрестности фюзеляжа ВС показывают:

- 1) значительную сеточную зависимость распределения водности по нормали к поверхности фюзеляжа;
- 2) при увеличении разрешающей способности сетки точка пересечения кривых на графиках зависимости водности от расстояния до стенки остается практически в неизменном положении, и это обстоятельство можно использовать для

экстраполяции результатов на сетки с более мелкими ячейками путем простого перераспределения водности в окрестности точки пересечения кривых водности (рис. 3).

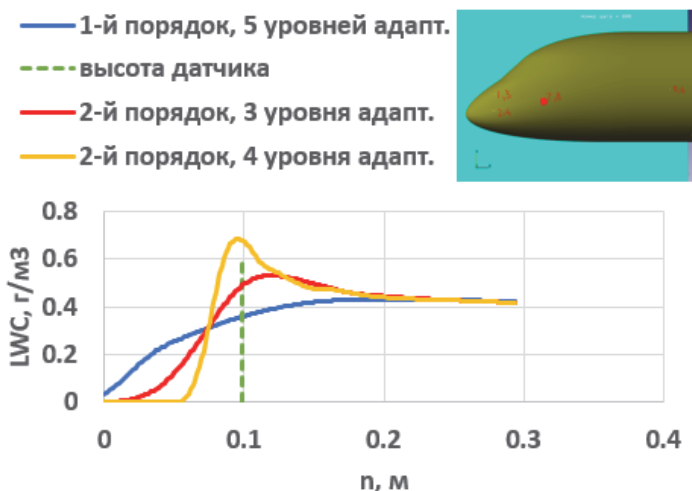


Рис. 3. Распределения водности вдоль нормали к поверхности, рассчитанные с разными порядками точности для одного из датчиков

Литература

1. Сорокин К.Э., Бывальцев П.М., Аксенов А.А., Жлуктов С.В., Савицкий Д.Б., Бабулин А.А., Шевяков В.И. Численное моделирование обледенения в программном комплексе FlowVision. Компьютерные исследования и моделирование, 2020, Т.12, № 1, с.83-96.
2. Аксенов А.А. FlowVision: индустриальная вычислительная гидродинамика. Компьютерные исследования и моделирование, 2017, Т.9, № 1, с.5-20.