

Моделирование обледенения в CADFlo

Павлов Андрей

+ | ТI Интеграция

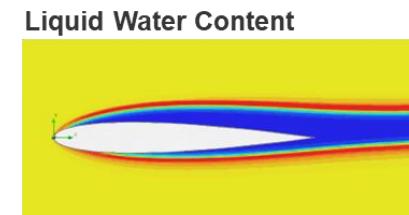
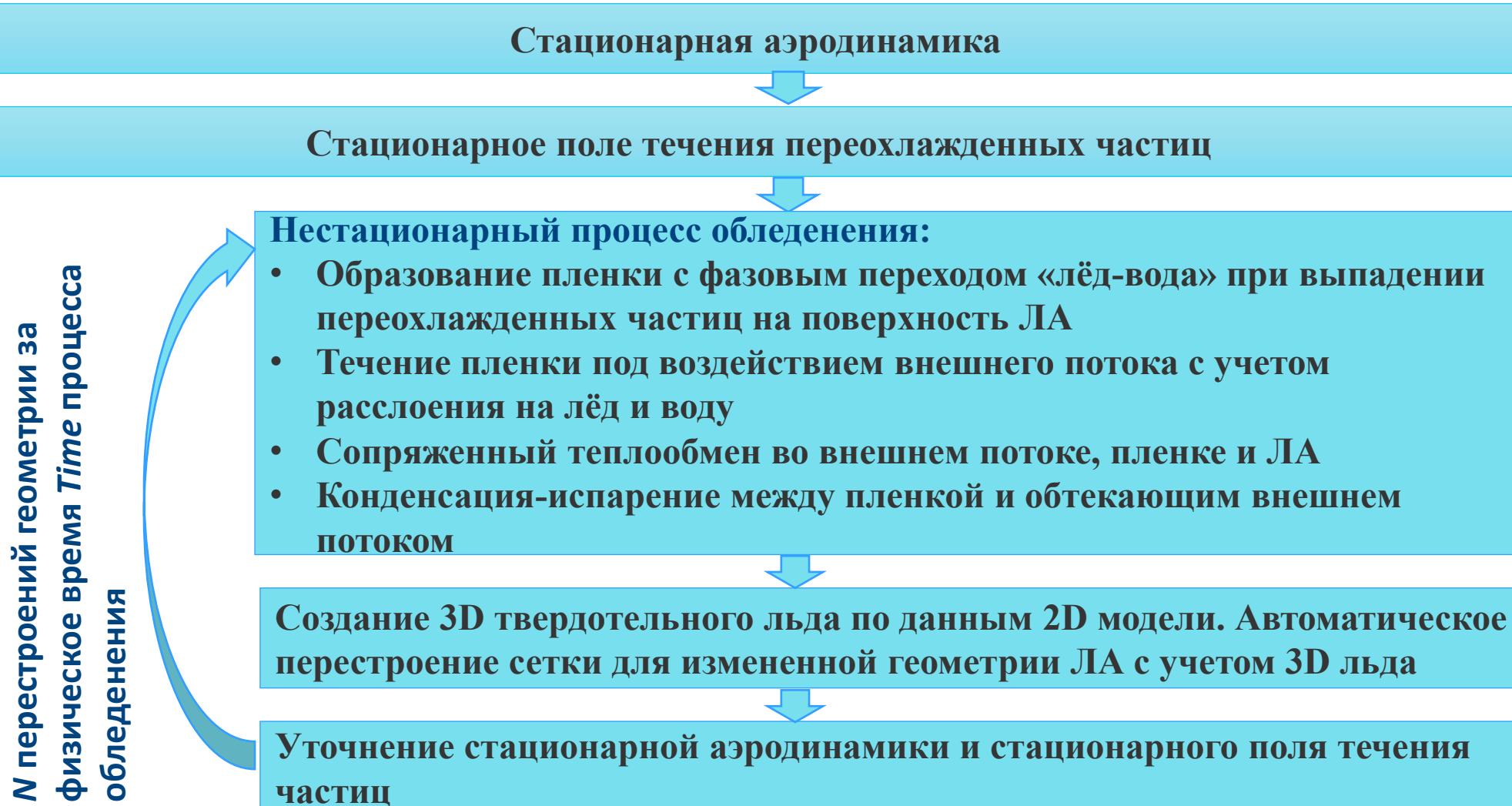
29.11.2025

Многостадийное моделирование «Обледенения»

Опция включена в летний релиз 2025 года



В автоматическом режиме реализуется многостадийный расчет:

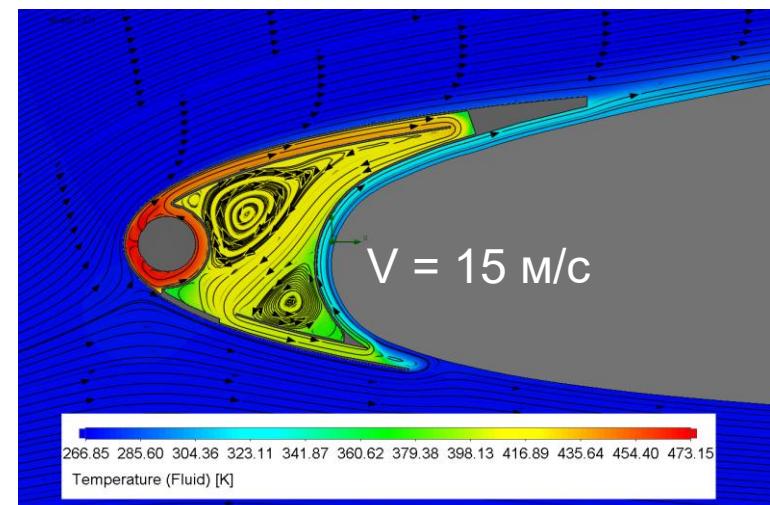
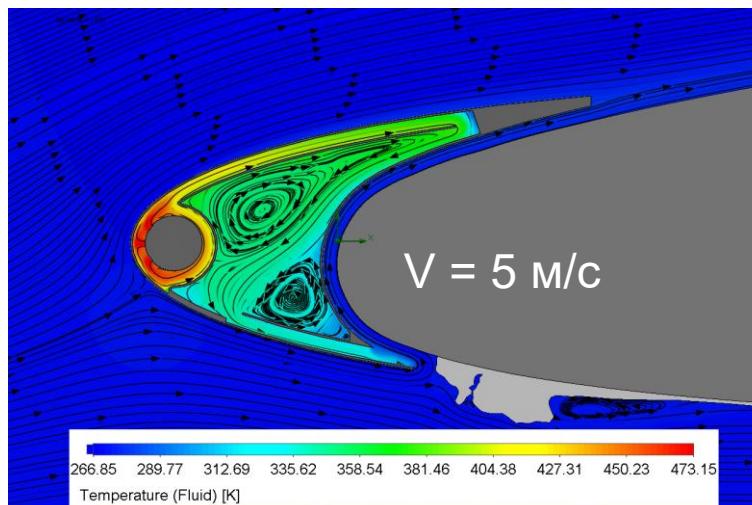
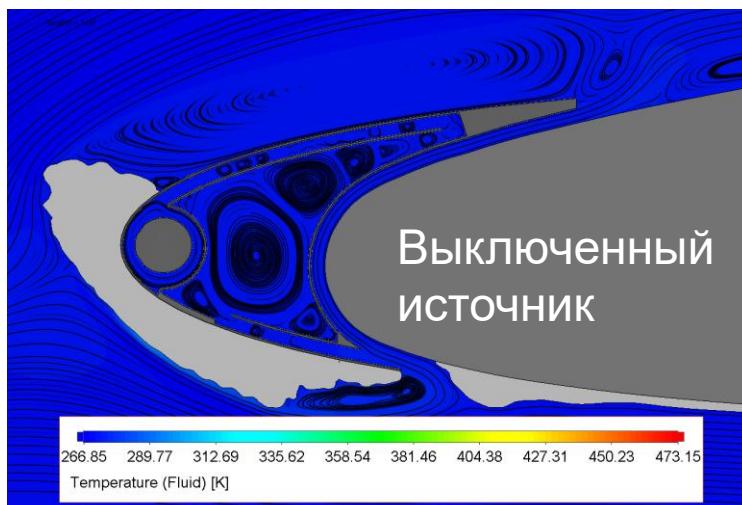
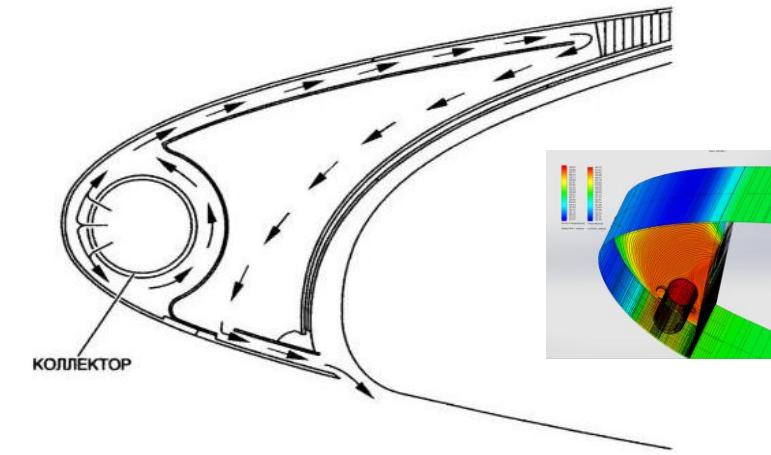


Особенности моделирования в CADFlo



1. Удобное «GUI» (моделирование одним запуском).
2. Пленка на поверхности рассчитывается совместно с 3D теплообменом в обтекаемых телах и газе. Тела представляются со всей их сложной внутренней структурой, как это позволяет богатая стандартная функциональность СНТ. Отсюда следует возможность решения многообразных реальных инженерных задач.

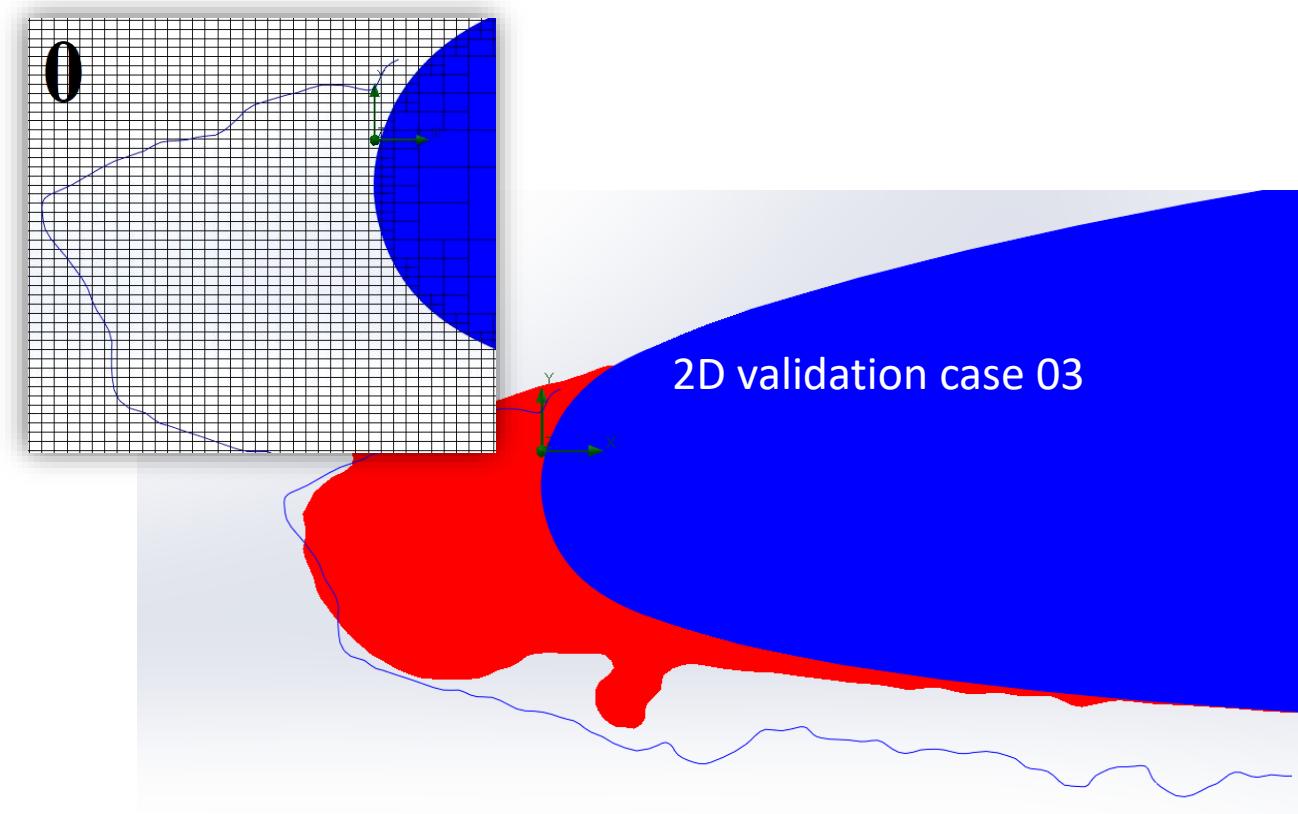
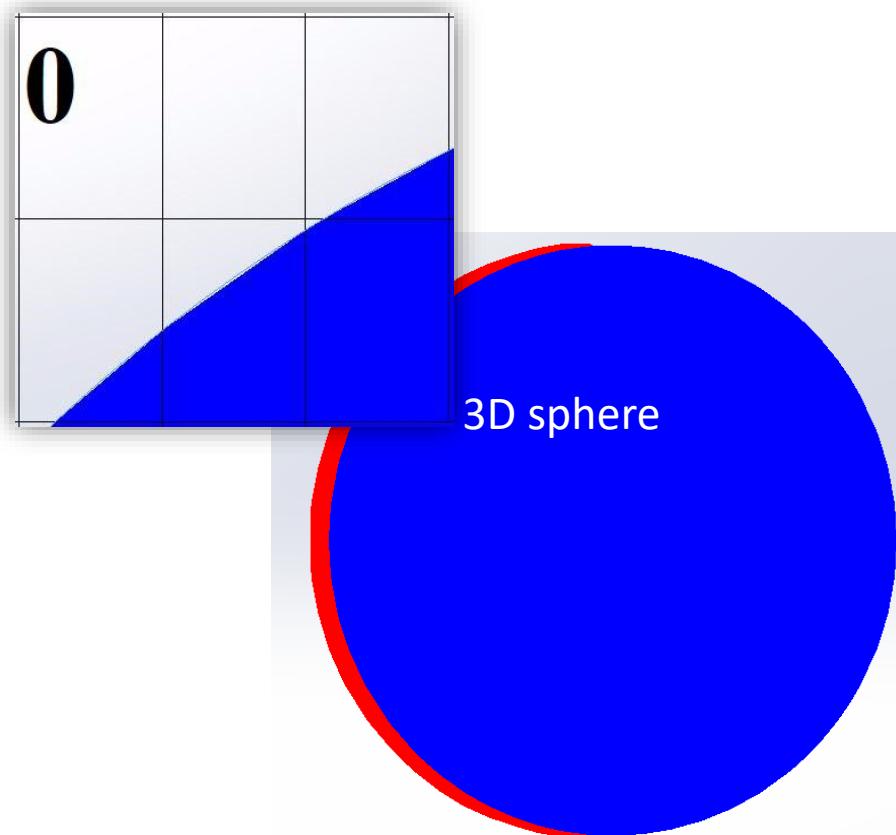
Схема движения воздуха ПОС в предкрылке самолета Суперджет



Особенности моделирования в CADFlo



3. Многократный (десятки раз) захват льда как 3D тела является
робастным, быстрым, консервативным, без ограничений на толщину и
форму льда.

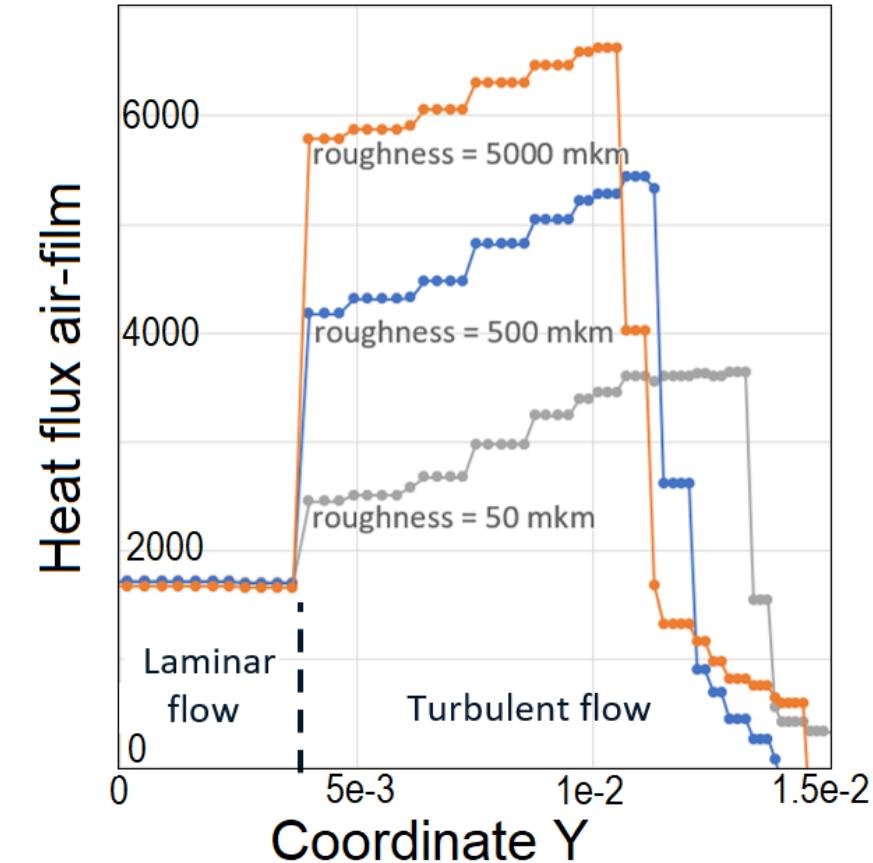
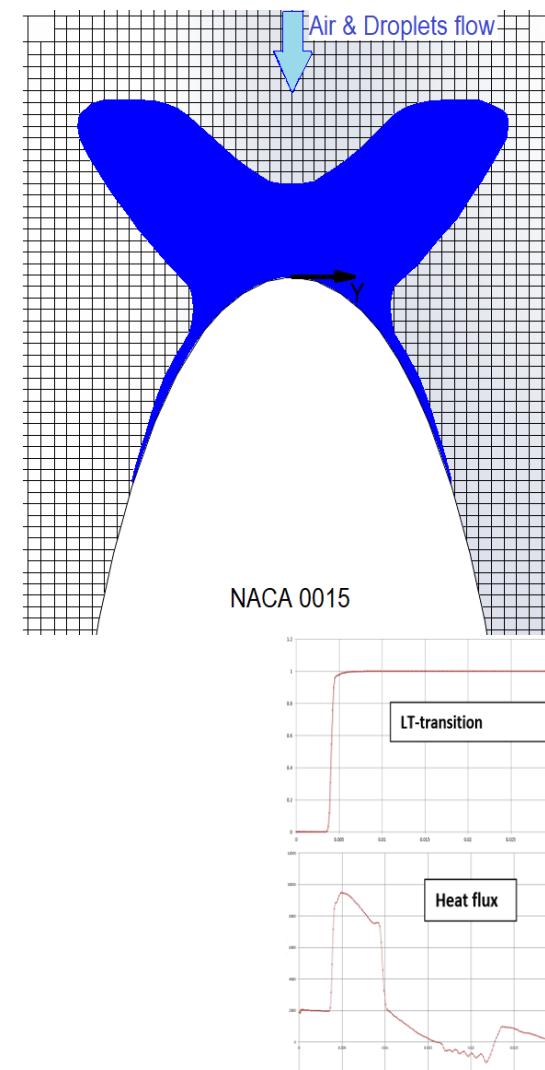


Особенности моделирования в CADFlo



4. Ламинарно-турбулентный переход и шероховатость играют основную роль в механизме роста льда сложных форм. Они определяют положение геометрических особенностей («рогов»).

Реализованный в CADFlo ламинарно-турбулентный переход и шероховатость позволяют воспроизводить сложные формы льда



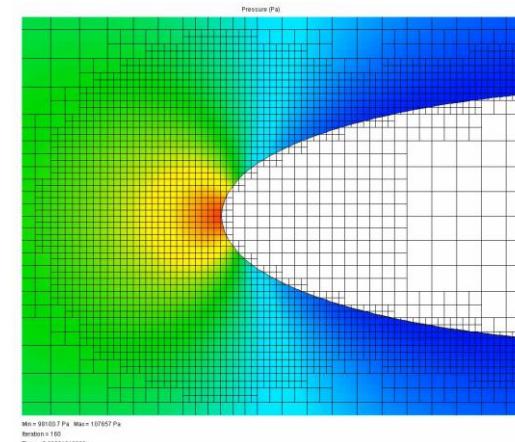
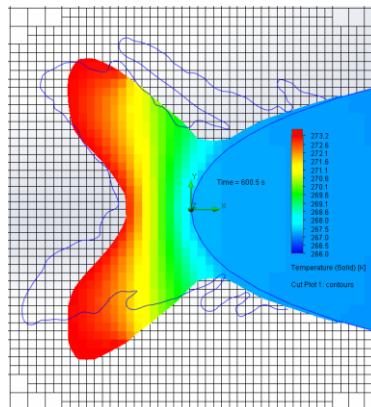
Обледенение 2D профилей



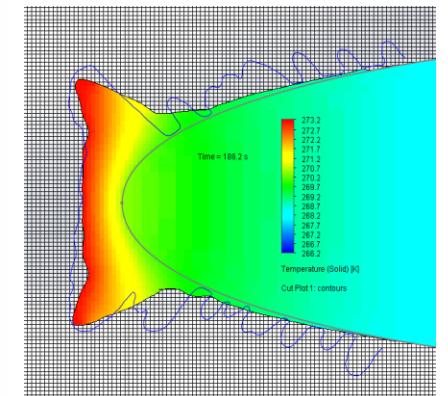
ANSYS FENSAP-ICE тесты

Case 01 Rime Run-404	OK
Case 02 Rime Run-211v3	OK
Case 03 Rime Run-212v3	OK
Case 04 Rime Run-080108v3	OK
Case 06 Glaze Run AE1055436	OK
Case 07 Glaze Run 624963	OK
Case 08 Glaze Run AC1097336	OK
Case 11 Glaze Run 711	OK*
Case 14 Rime NASA AE1008336	OK*

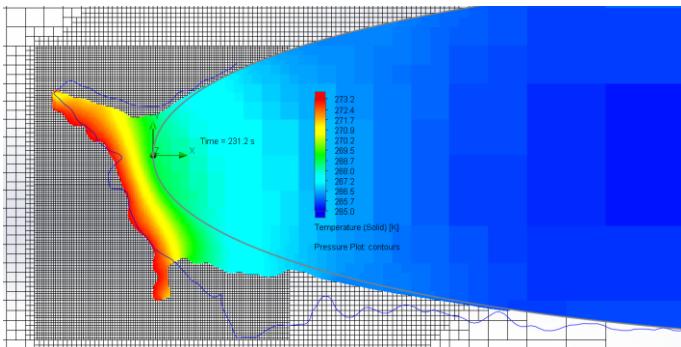
Case 07 glaze



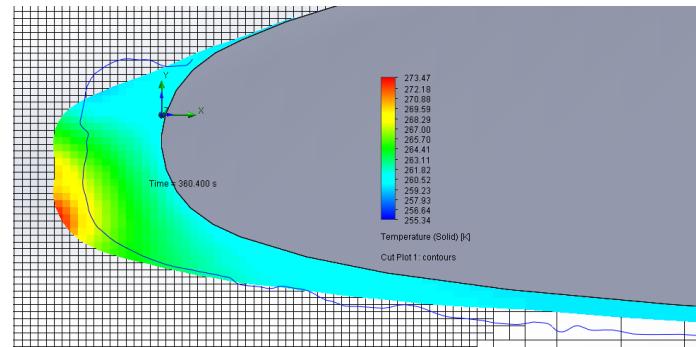
Case 08 Glaze
Run AC1097336



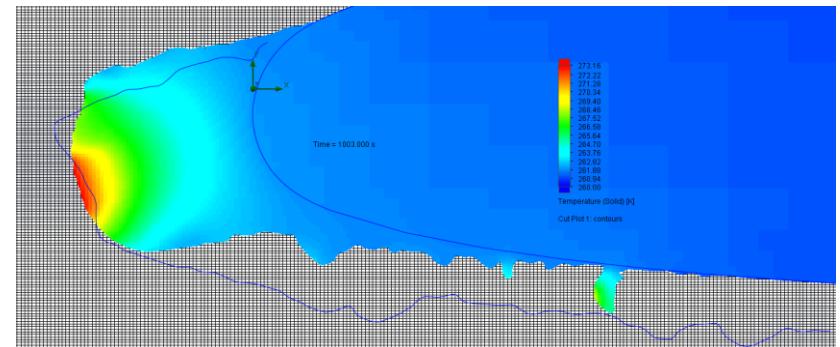
Case 06 Glaze Run AE1055436



Case 04 Rime Run-080108



Case 03 Rime Run-212

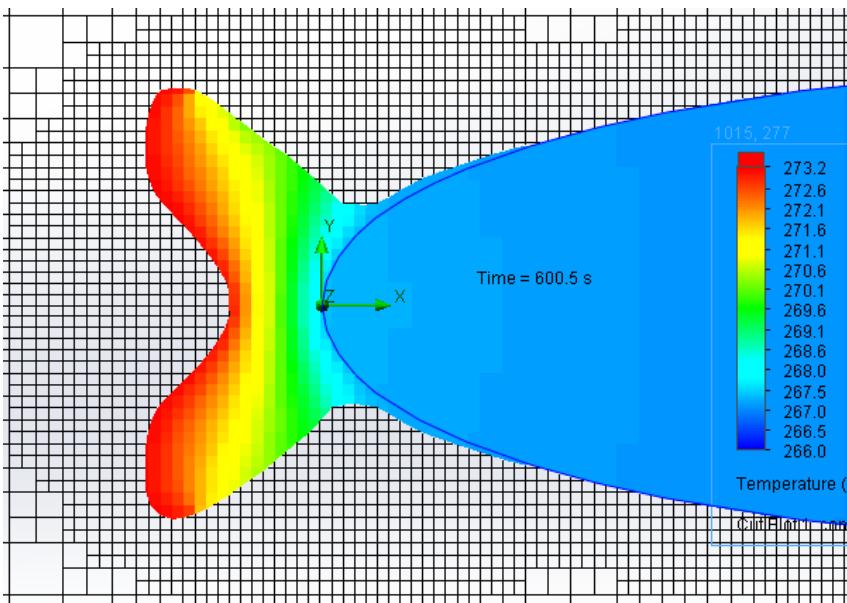


Обледенение 2D профилей

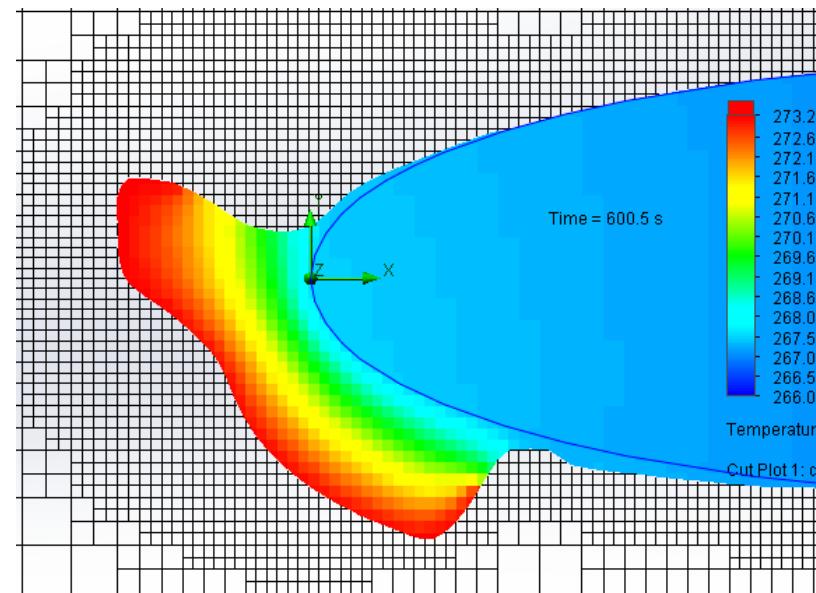


Обледенение при меняющемся по времени угле атаки на примере «Case 07 Glaze Run 624963»

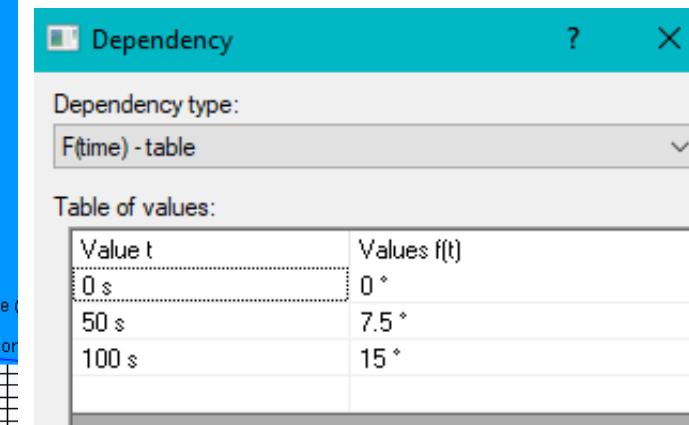
Постоянный угол атаки:



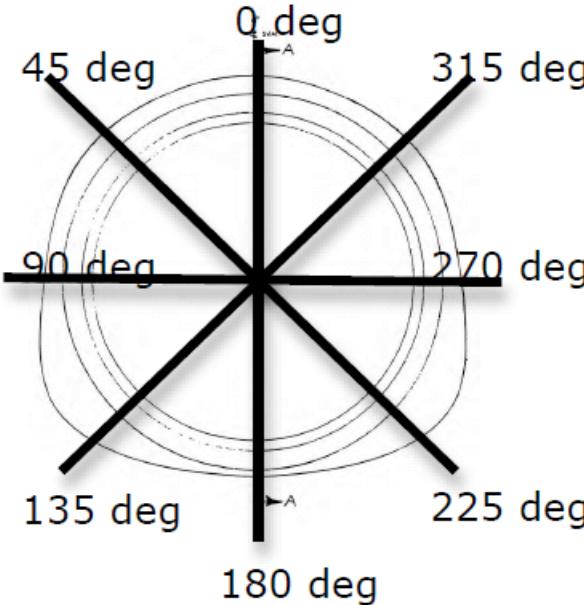
Переменный угол атаки:



Заданная зависимость
угла атаки от времени:



Обледенение несимметричной мотогондолы Boing 737-300



Cross-sections

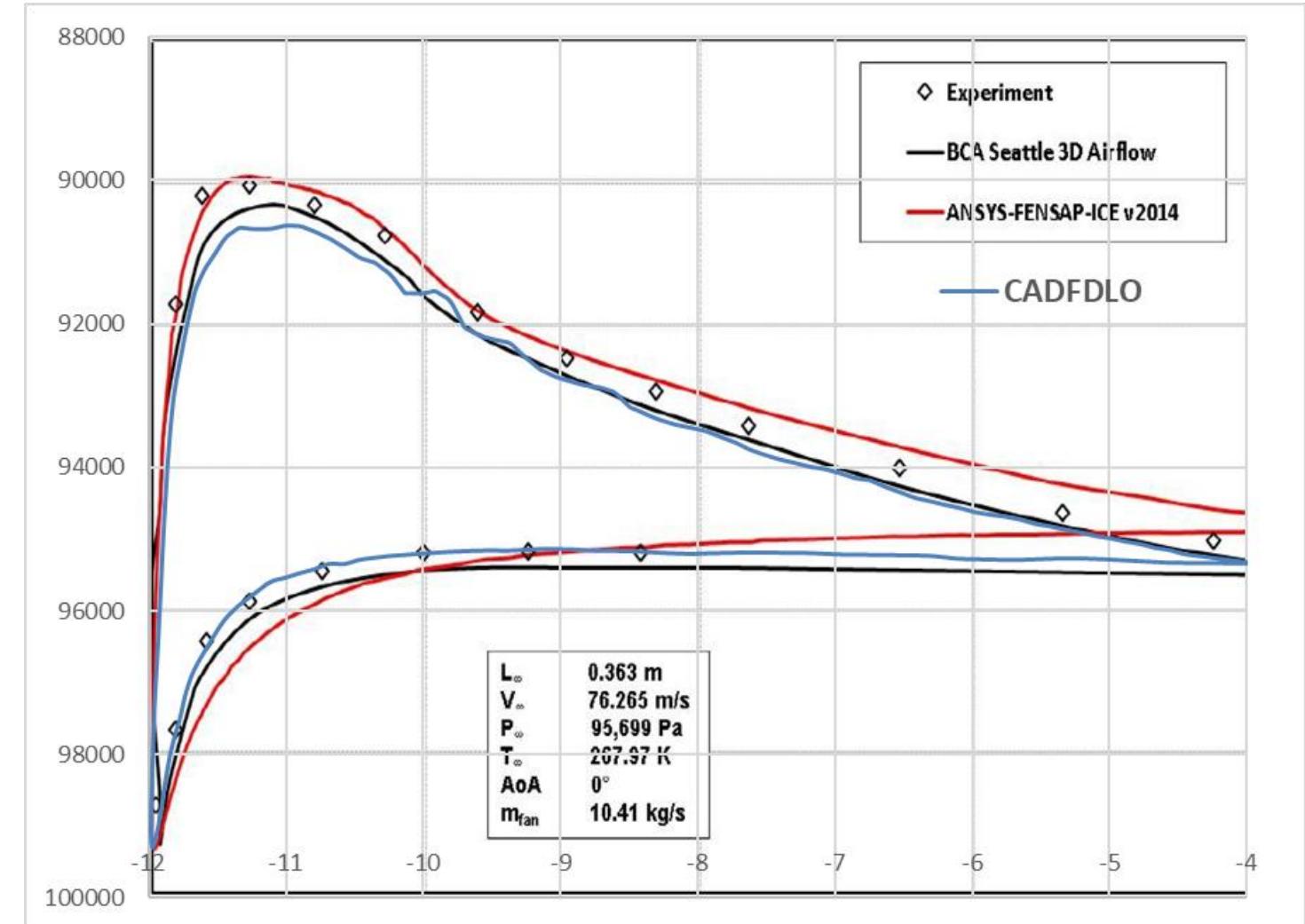
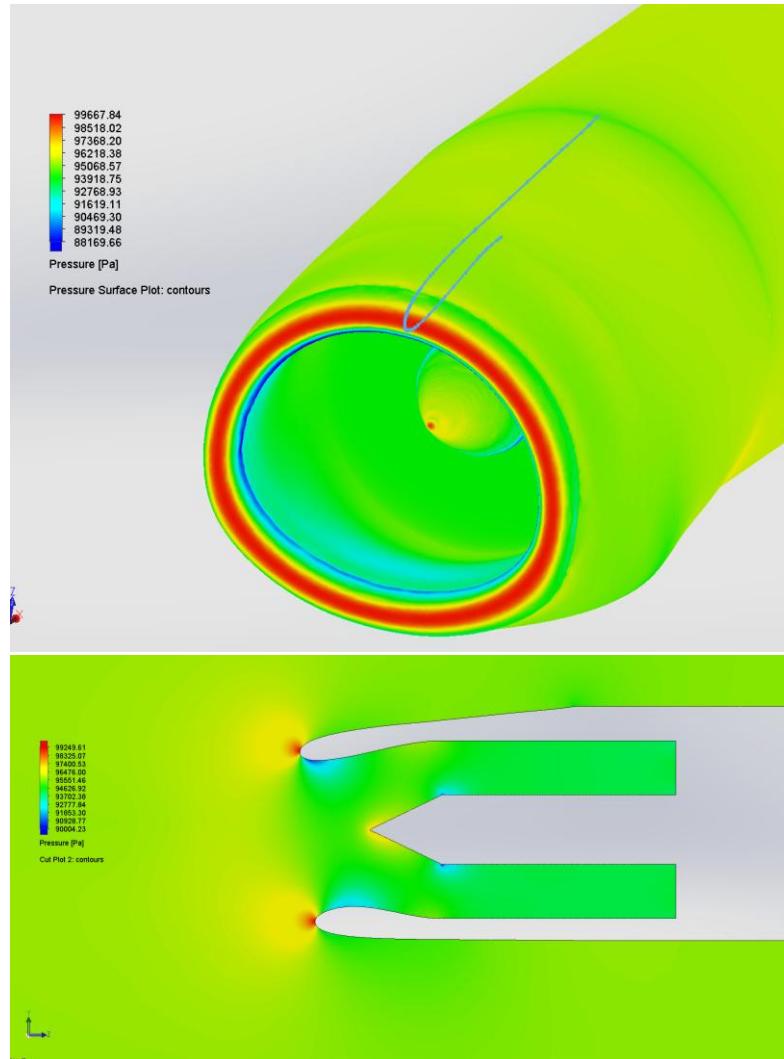
Модель	B-737-300 Nacelle
Характерный размер	0.363 м
Скорость воздуха	76.27 м/с
Статическое давление	95699.2 Па
Статическая температура	267.96 К
Угол Атаки	0°
LWC	0.55 г/м³
MVD	20 мкм
Длительность обледенения	420 с
Массовый расход воздуха	10.4144723 кг/с

M. Papadakis, R. Elangonan, G.A. Freund, Jr., M. Breer, G.W. Zumwalt, and L. Whitmer , "An Experimental Method for Measuring Water Droplet Impingement Efficiency on Two- and Three-Dimensional Bodies", NASA Contractor Report 4257, DOT/FAA/CT -87/22, , 1989
Note: Pages 182-197 contain the information for the experimental data comparison

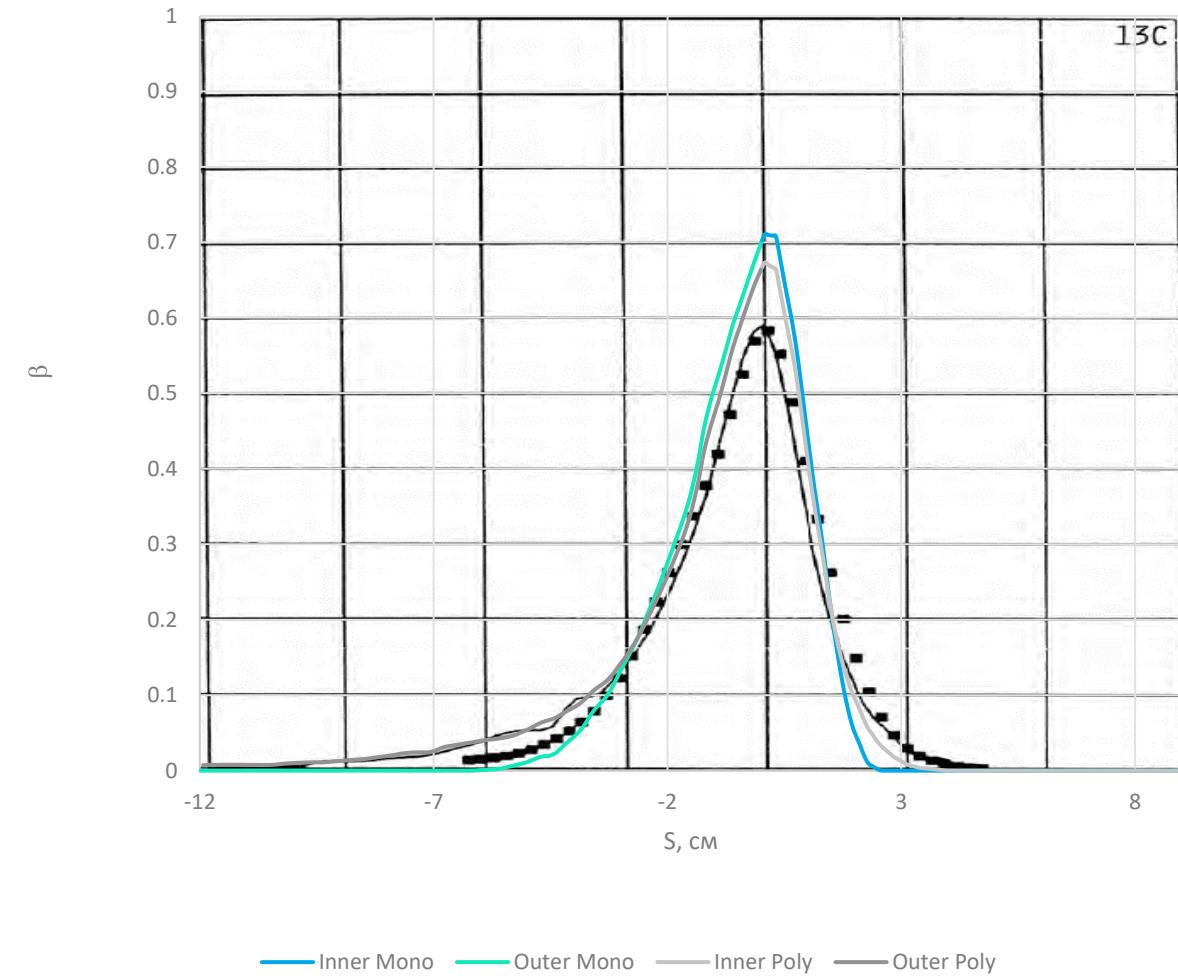
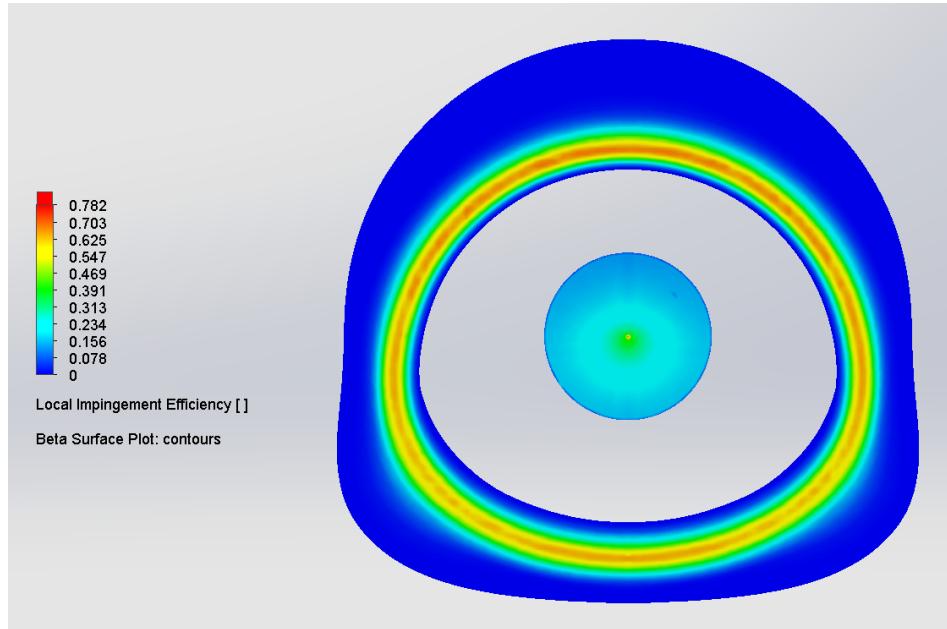
Расчет аэродинамики. Мотогондола Boeing 737-300



Давление на поверхности мотогондолы



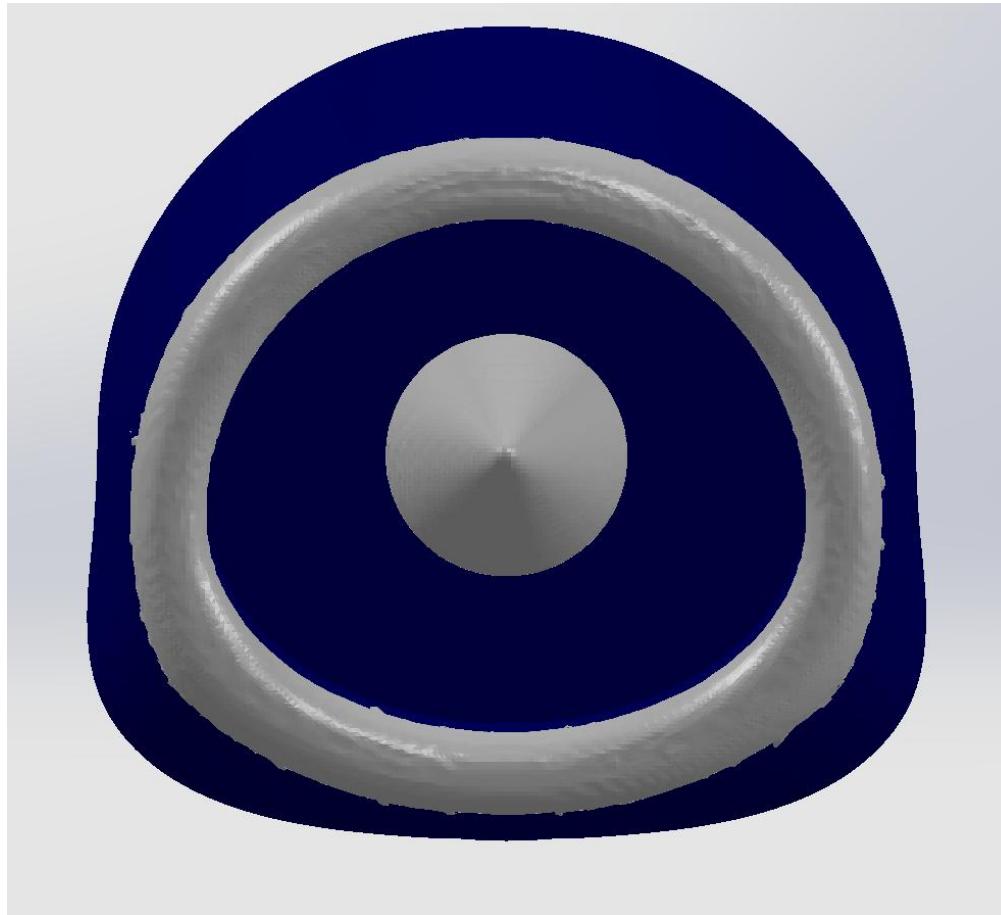
Расчет движения моно- и полидисперсных капель



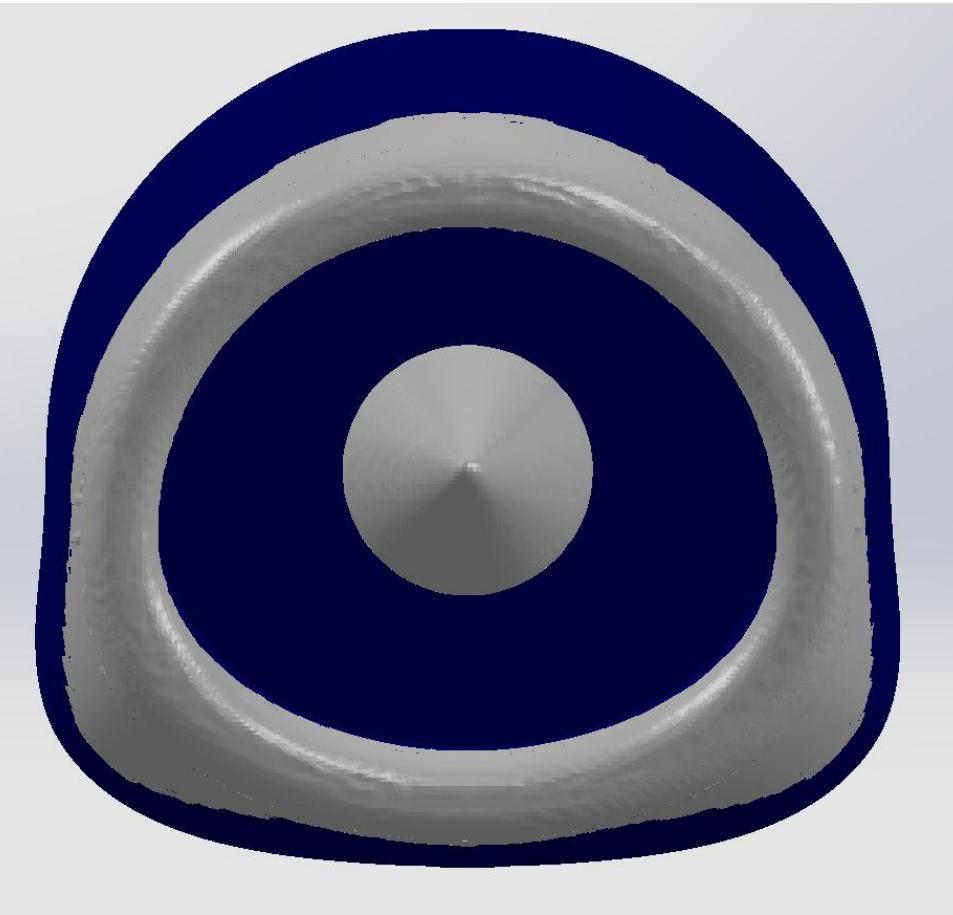
Формы льда CADFlo.



Монодисперсные капли



Полидисперсные капли



Три захвата льда. Время обледенения 420 с

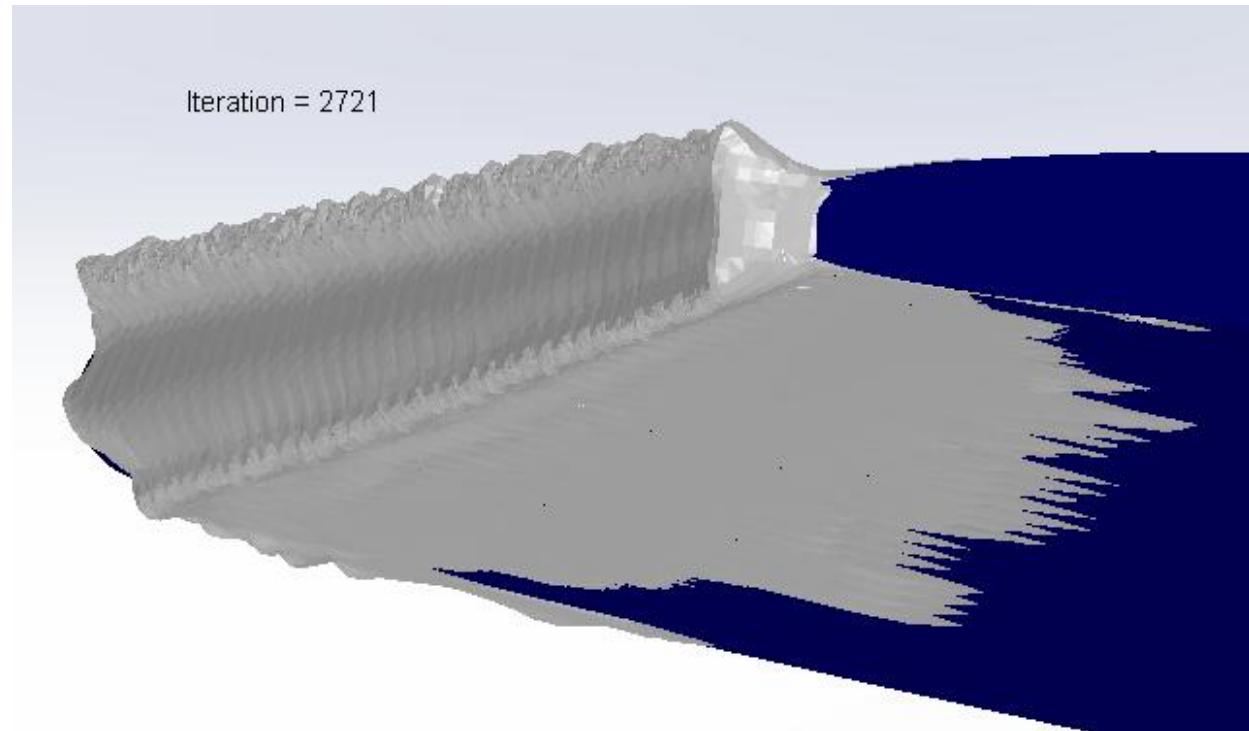
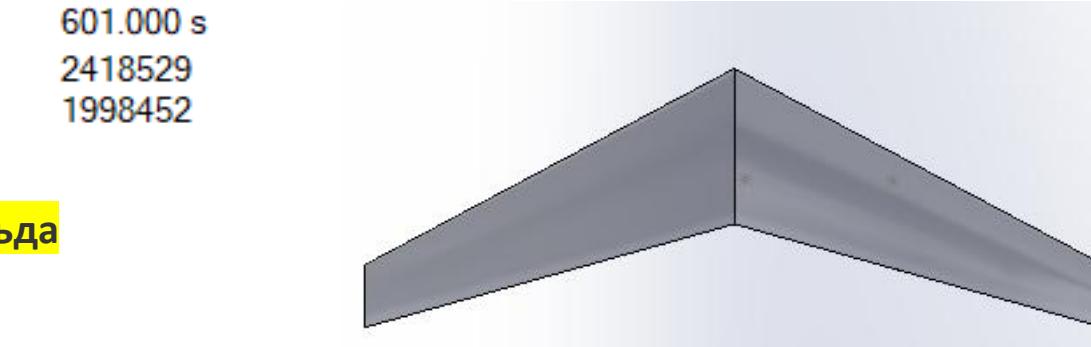
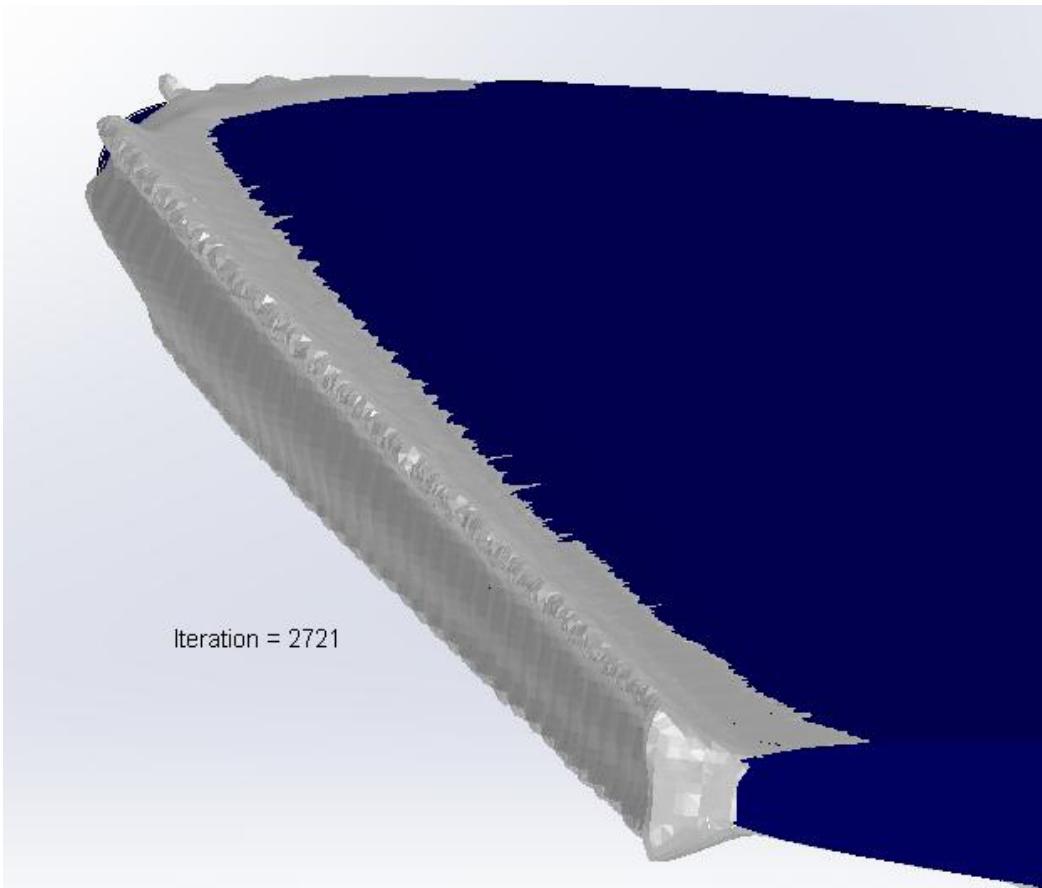
Обледенение 3D ЛА



Pressure	110941 Pa
Temperature	-3.88888889 °C
Velocity in X direction	0 m/s
Velocity in Y direction	0 m/s
Velocity in Z direction	-111.76 m/s

Physical time
Total cells
Fluid cells

CPU: 15 часов
10 захватов льда



Влияние численных параметров на результаты

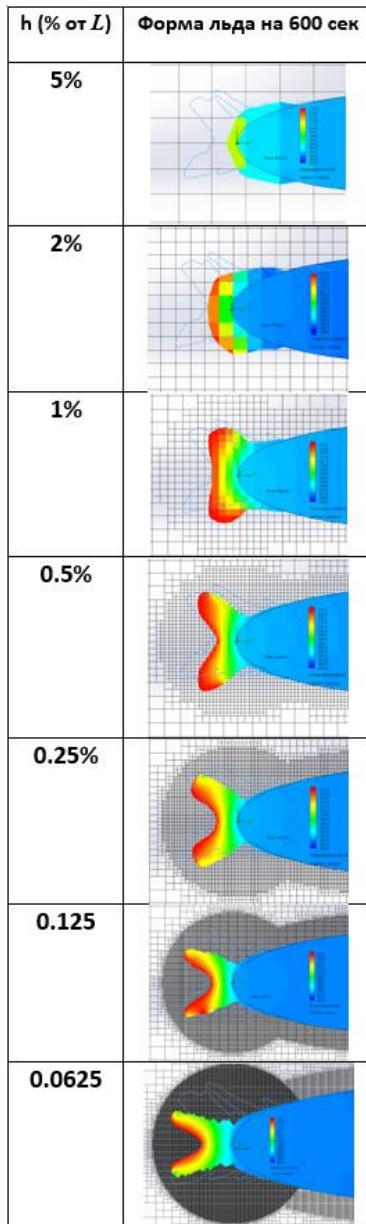


Параметр	Рекомендации для влажного режима, MVD<40мкм	Степень влияния
Размер пространственной сетки	$h < (0.5 \div 0.1)\%$ от хорды L	Значительно
Количества захватов льда	N захватов > 15	Значительно
Шероховатость льда	3000÷5000 мкм	Значительно
Размер шага по времени	$\Delta t < 0.2$ сек	Незначительно (пока не нарушается условие Куранта для течения пленки)
Распределение капель по размерам: моно- или полидисперсные капли	Монодисперсное	Незначительно
Материал тела и его начальная температура	Следует уточнять свойства материала и температуру обтекаемого тела	Значительно
Настройки ламинарно-турбулентного перехода	$0 < C(\text{lam-turb}) < 0.75$	Незначительно (в указанном диапазоне)

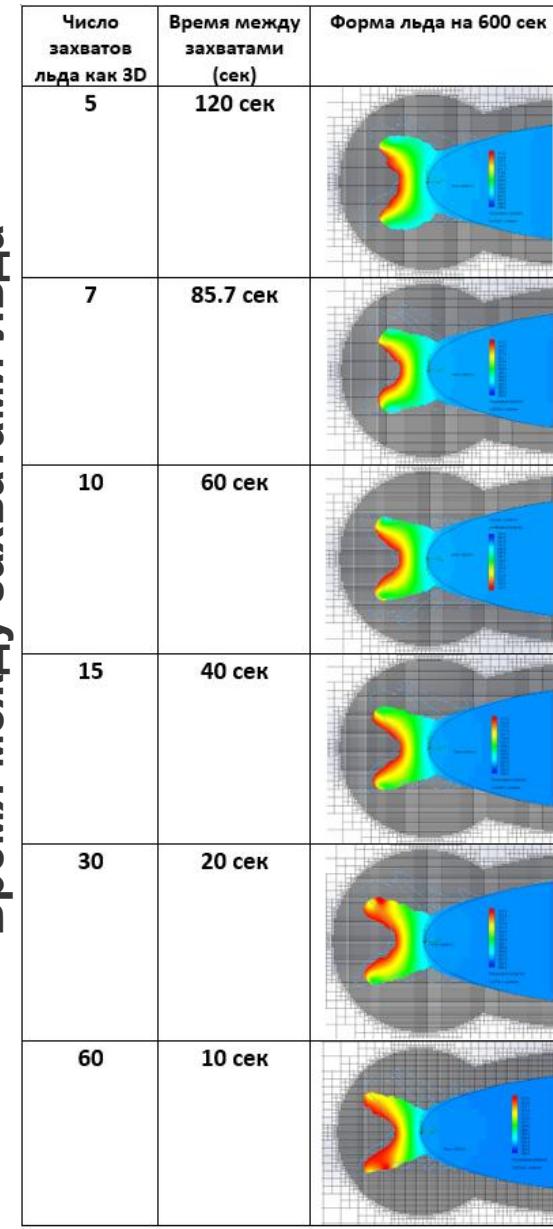
Влияние численных параметров на результаты



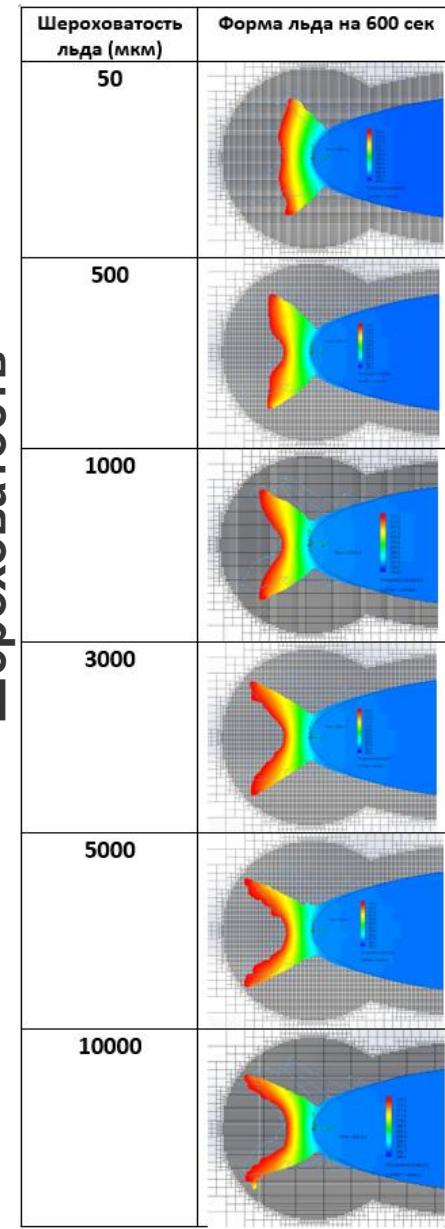
Размер шага сетки



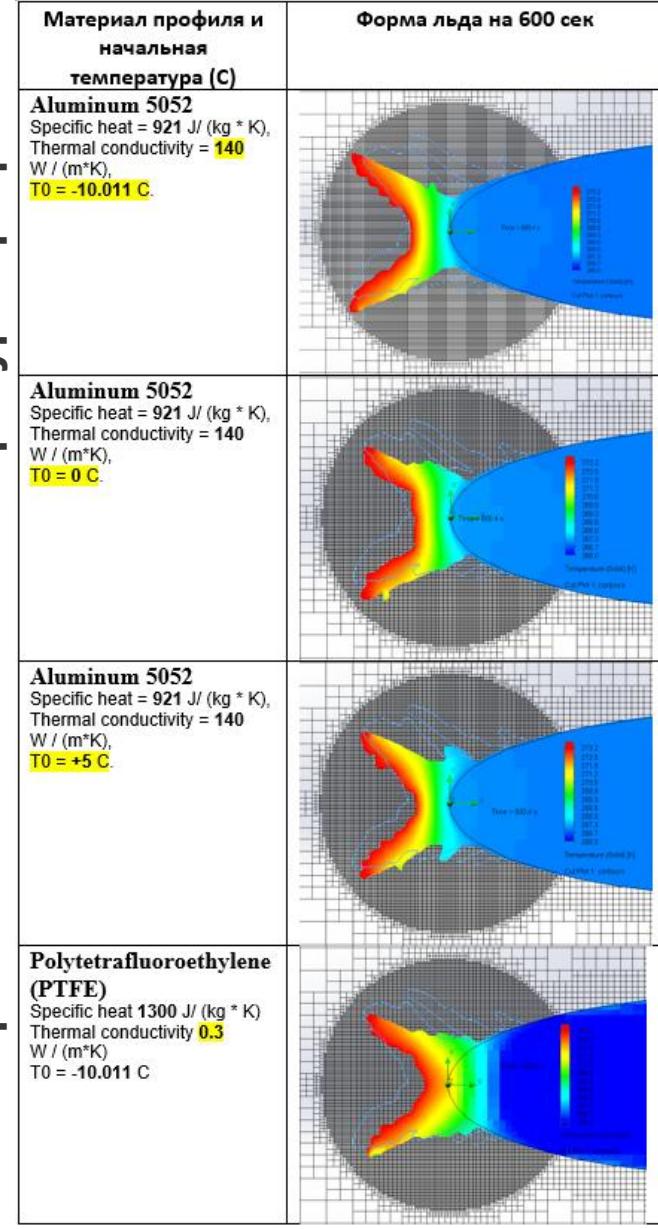
Время между захватами льда



Шероховатость



Материал и начальная температура профиля



Ближайшие планы: разбрьзгивание капель



Добавление модели разбрьзгивания крупных капель (SLD)

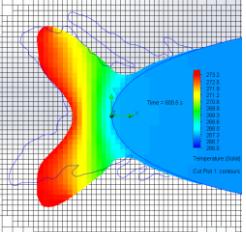
«LEWICE Splashing Model»:

Wright W. Further refinement of
the LEWICE SLD model [C].

Reno, Nevada: 44th AIAA

Aerospace Sciences Meeting and
Exhibit, 2006: 464

Small droplets (MVD = 19 μm):

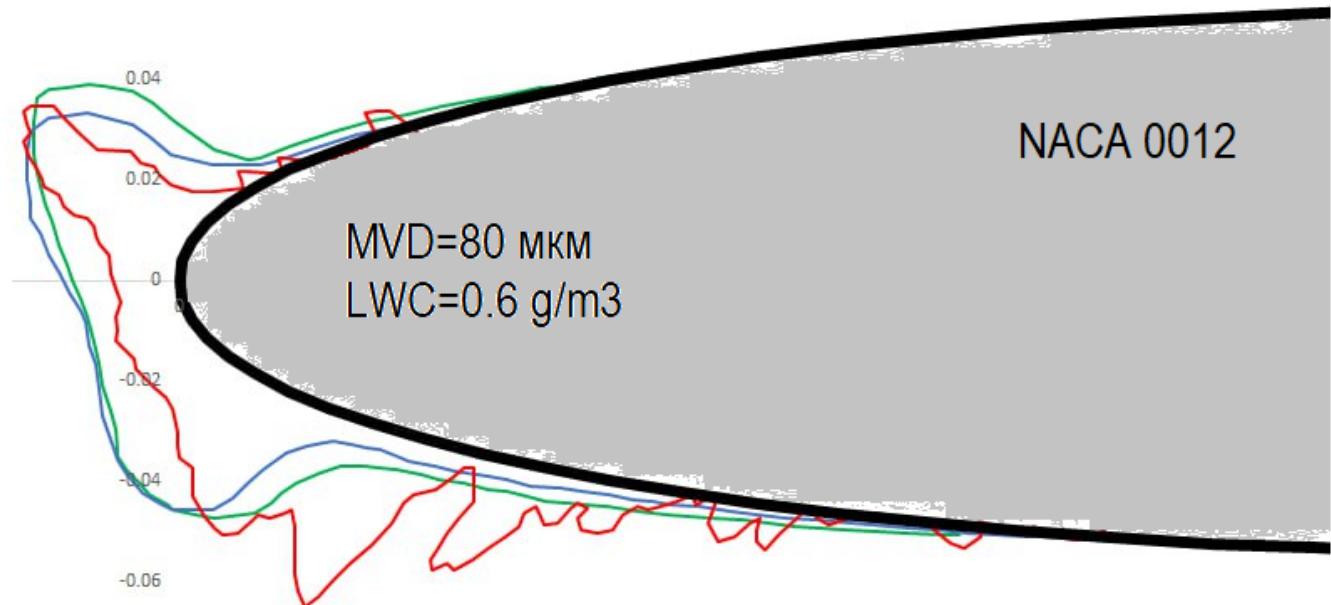


Mass
reduction
is 0.25%

- Experiment *
- CADFlo without splashing
- CADFlo with splashing

Large droplets (MVD = 80 μm):

Splashing leads to 22% mass reduction



* Miller, D.R., Potapczuk, M.G., and Langhals, T.J., *Preliminary Investigation of Ice Shape Sensitivity to Parameter Variations*, NASA/TM-2005-213562 (AIAA Paper 2005-0073), 2005.

Спасибо за внимание

+ | ТI Интеграция

