

Оценка аэродинамических характеристик фюзеляжа вертолета с помощью системы *Simcenter STAR-CCM+*

Шмаков Артур Фаданисович, инженер отдела CFD, Адванс Инжиниринг

Введение

В условиях высокой конкуренции одной из важнейших задач предприятия является сокращение затрат и сроков разработки качественной продукции. Применение численного моделирования для анализа аэродинамических характеристик, где полученные результаты имеют высокую точность и соответствуют реальному поведению изделия при эксплуатации, позволяет решить данную задачу.

Использование инструментов численного моделирования аэродинамики дает возможность рассмотреть множество прототипов и подобрать оптимальный вариант конструкции, учесть все физические факторы, влияющие на характеристики изделия, провести виртуальную продувку моделей вертолета, причем в реальных масштабах, без применения различных критериев подобия и коэффициентов масштабирования. Это помогает сократить число физических образцов и снизить себестоимость и трудоемкость разработки.

Сложные требования к конструкции вертолета

Оптимизация аэродинамической формы фюзеляжа вертолета и течения воздуха от несущих и управляющих винтов позволяет уменьшить расход топлива, что повышает экологичность и уменьшает вред для окружающей среды, уменьшает аэродинамический шум, повышает аэродинамическое качество вертолета. Точный анализ конструкций, проведенный уже на первоначальном этапе разработки, в конечном счете приводит к созданию высококачественных изделий.

Кроме того, результаты численного моделирования аэродинамики вертолета интегрируются в концепцию цифрового двойника изделия.

Численное моделирование аэродинамики фюзеляжа вертолета в *Simcenter STAR-CCM+*

Целью работы (расчета), рассмотренной в статье, является определение зависимости аэродинамических коэффициентов силы и моментов от угла атаки и угла скольжения при внешнем обтекании модели фюзеляжа вертолета, для чего использовалось ПО *Simcenter STAR-CCM+*.

Основные задачи, которые необходимо решить:

- разработать методику численного моделирования внешнего обтекания модели фюзеляжа вертолета;
- автоматизировать процесс численного моделирования внешнего обтекания модели фюзеляжа вертолета (рис. 1);
- сравнить результаты численного моделирования с экспериментальными данными обдува модели фюзеляжа вертолета в аэродинамической трубе.

Для численного моделирования были приняты следующие исходные данные:

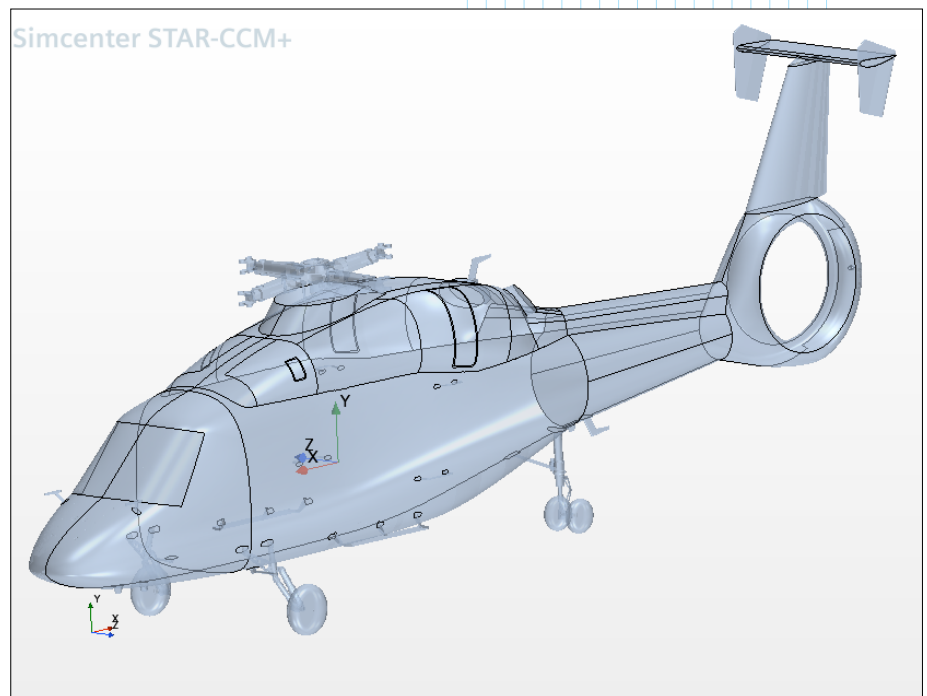


Рис. 1. Геометрическая модель фюзеляжа вертолета

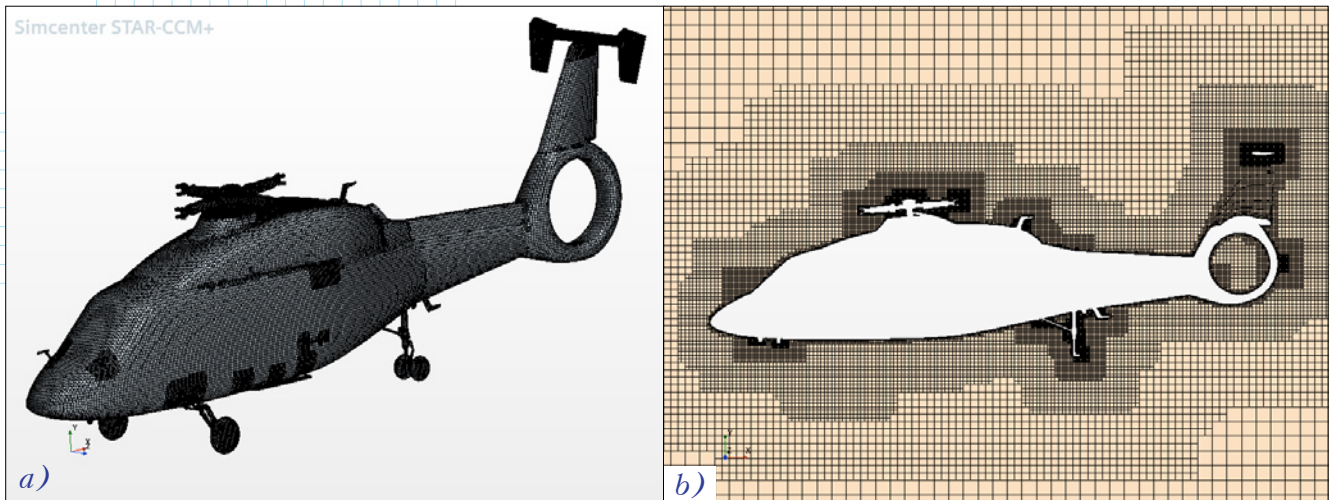


Рис. 2. Сеточная модель фюзеляжа вертолета: а) общий вид; б) вид в сечении

- угол атаки α и угол скольжения β в рамках задачи изменяются в диапазоне от -30° до $+30^\circ$ с шагом 5° ;
- рассматривается обтекание модели фюзеляжа вертолета воздухом с параметрами стандартной атмосферы на высоте 0 метров;
- скорость набегающего потока $V=25$ м/с;
- имеется CAD-модель в виде набора твердых и оболочных тел, к которым был применен инструмент *Wrapping*;
- известны инерционные и геометрические характеристики модели (центр масс, площадь миделя и характерный размер).

Сеточная модель

Для численного моделирования аэродинамического обтекания модели фюзеляжа вертолета в отдельности и в сборе была построена декартова прямоугольная расчетная сетка с отсеченными гранями (рис. 2). В терминах *STAR-CCM+* такой построитель сеток называется триммер. Данный метод позволяет построить сетку, обеспечивающую высокую точность расчетов и при этом экономную с точки зрения вычислительных ресурсов. В качестве базового размера была выбрана хорда хвостового оперения 0.25 м.

Для вычислений параметров потока в пограничном слое на поверхности профиля использовались призматические элементы. Для определения параметров призматического слоя был проведен расчет размера первого элемента. В качестве исходных данных были взяты число Рейнольдса, плотность и динамическая вязкость воздуха, длина хорды. Чтобы более точно рассчитать обтекание,

требуется на сеточном уровне описать эпюру скорости потока воздуха у поверхности летательного аппарата, то есть обеспечить плавный переход от нулевого значения у самой поверхности до значения в ядре потока. Для этого значение пристеночной функции y^+ должно быть равно или меньше 1. С учетом скорости набегающего потока высота первого слоя получила значение 13 мкм, а количество слоев – 15, что подходит для предварительной оценки параметров обтекания модели фюзеляжа вертолета.

Для оценки изменения потока за профилем и для более точного численного моделирования, было задано сгущение сетки вокруг модели фюзеляжа вертолета. Средний размер ячейки задавался как 25% от базового. Для сгущения сетки на поверхности модели фюзеляжа вертолета с целью более точного описания

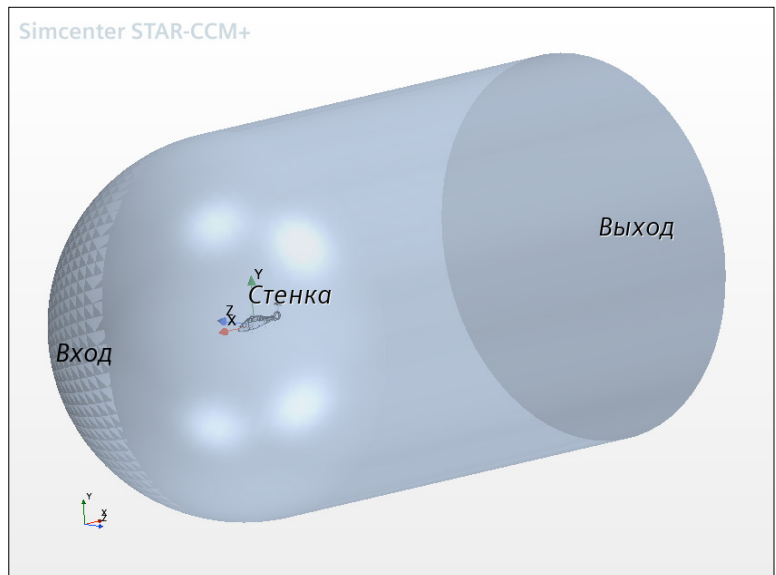


Рис. 3. Граничные условия

элементов применялся средний размер ячейки, равный 2% от базового.

Итоговая расчетная сетка представлена на иллюстрации. Общее число ячеек в среднем для всех расчетных геометрий составило примерно 7 502 614, число узлов – 7 611 460.

Физическая модель

Описание физической модели, используемой в проекте:

- Стационарная постановка;
- Трехмерный расчет;
- Идеальный газ – воздух;
- Модель турбулентности – *k-Omega SST*;
- Связанный решатель.

В графическом виде граничные условия, заданные для проведения численного моделирования, показаны на рис. 3.

Условие входа в расчетную область задавалось как “скорость на входе”. Условие выхода из расчетной области задавалось как “давление на выходе”. На поверхности профиля задавалось условие “стенка”.

Физические значения условия “скорость на входе”:

- скорость потока вдоль оси *X* скоростной системы координат – 25 м/с;

- температура воздуха – 288.15 К.

Физические значения условия “давление на выходе”:

- относительное давление – 0 Па;
- статическая температура – 288.15 К.

Физические значения условия “стенка”:

- стенка гладкая;
- адиабатическая;
- без проскальзывания.

В качестве критерия остановки расчетов было указано максимальное количество итераций, равное 1000, и условия сходимости решения по аэродинамическим коэффициентам и моментам.

Результаты численного моделирования

Для исследования аэродинамических свойств модели фюзеляжа

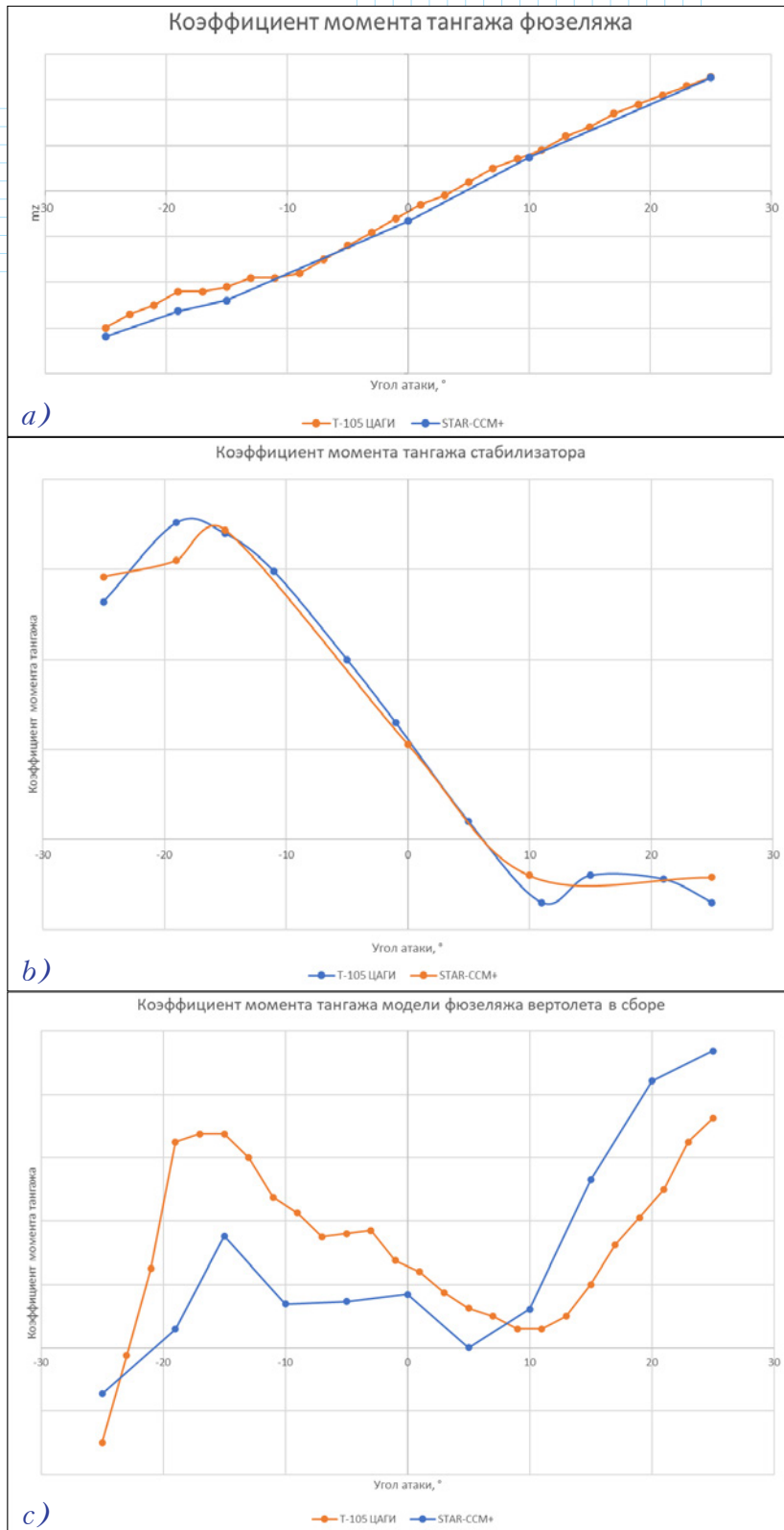


Рис. 4. Сравнение результирующих диаграмм для коэффициента момента тангажа: а) коэффициент момента тангажа фюзеляжа вертолета; б) коэффициент момента тангажа стабилизатора вертолета; в) коэффициент момента тангажа фюзеляжа вертолета в сборе

вертолета рассматривают зависимость аэродинамических коэффициентов сил и моментов от угла атаки и угла скольжения в связанной и скоростной системах координат.

На рис. 4 представлены для сравнения диаграммы изменения коэффициента момента тангажа для модели стабилизатора, фюзеляжа в отдельности и в сборе, полученные при численном моделировании в среде STAR-CCM+ и в физическом эксперименте в аэродинамической трубе ЦАГИ (тангажом называется угловое движение летательного аппарата относительно главной поперечной оси инерции).

Как видно по графикам, для стабилизатора и для фюзеляжа в отдельности результаты численного и физического эксперимента совпадают с точностью $2\div 5\%$.

При численном моделировании аэродинамического обтекания фюзеляжа в сборе при отрицательных углах атаки обнаружилось сильное расхождение с физическим экспериментом. Это связано с тем, что угол атаки, близкий к -15° , является критическим для профиля стабилизатора, и это оказывает значительное влияние на аэродинамику вертолета. Весь процесс расчета был

автоматизирован, для большинства расчетных точек были заданы оптимальные настройки проекта. Физический эксперимент показал, что для данных углов атаки проект необходимо доработать (уточнить сетку вокруг стабилизатора и хвостового оперения, внести изменения в настройки решателя), чтобы иметь возможность анализировать возможные срывы потока и получать более точные значения аэродинамических коэффициентов сил и моментов.

Для каждого значения угла атаки были получены распределения аэродинамических параметров (рис. 5), таких как:

- статическое давление на поверхности модели фюзеляжа вертолета;
- давление воздуха вокруг модели;
- скорость потока;
- векторное поле скоростей;
- температура и т.д.

Эти данные могут быть полезны для более точного исследования физических процессов вокруг расчетной модели, необходимого для того, чтобы оптимизировать конструкцию. Например, их можно использовать в последующих анализах аэродинамического шума, можно определять зоны оптимизации

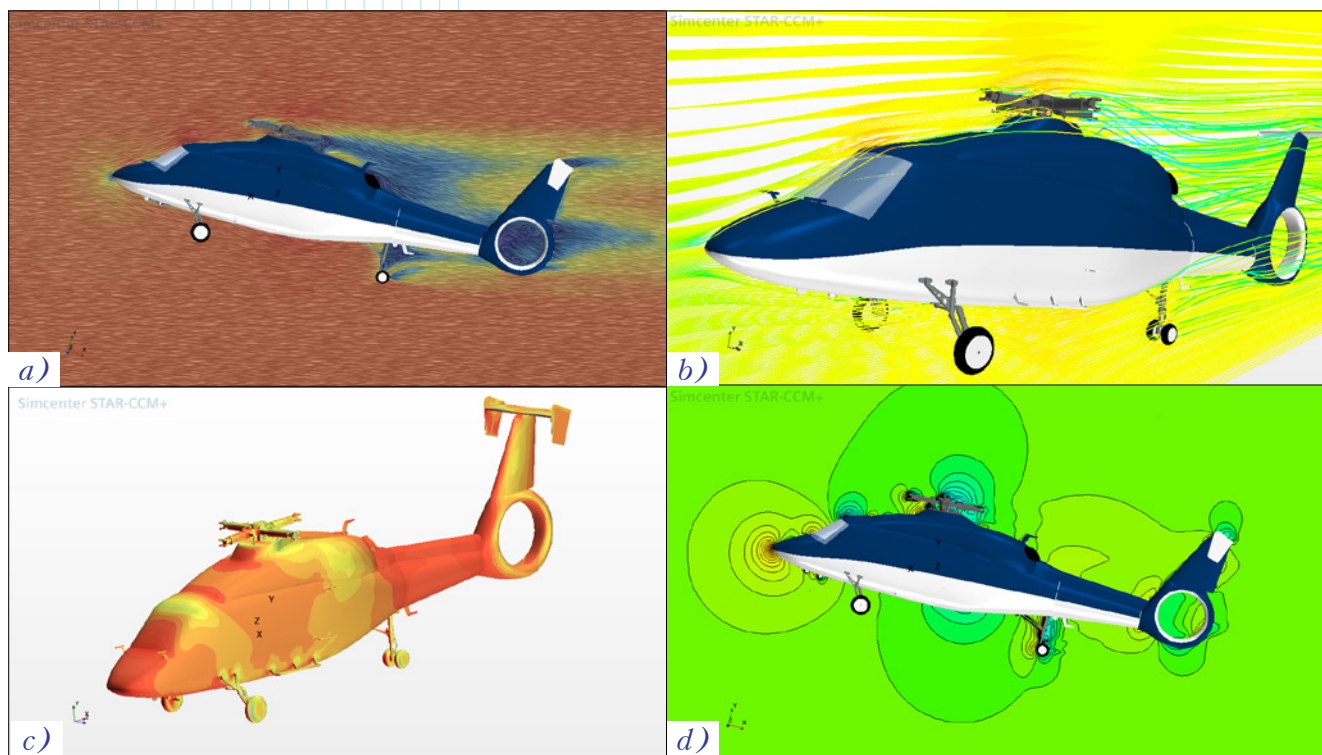


Рис. 5. Результаты численного моделирования: а) векторное поле скоростей; б) линии тока; в) распределение статического давления на поверхности фюзеляжа вертолета; д) распределение относительного давления вокруг фюзеляжа вертолета

поверхности вертолета, завихрения потока воздуха и т.д.


Заключение

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

- За счет использования инструментов автоматизации из состава программного комплекса *Simcenter STAR-CCM+* значительно уменьшилось время, требуемое на подготовку расчетной модели. Интеграция с CAD-системами и системами документооборота позволяет встроить численный анализ в жизненный цикл изделия и значительно ускорить процесс принятия решения. В среднем, на подготовку расчетной модели требуется в 4 раза меньше времени, по сравнению с традиционным подходом.
- Результаты численного моделирования обтекания отдельно фюзеляжа и стабилизатора показали удовлетворительную сходимость с результатами физических экспериментов. Расхождения составили 2÷5%. При построении численной модели в основном применялись стандартные настройки

решателя, что позволяет использовать меньше ресурсов для расчета. Инструменты постобработки результатов численного моделирования позволяют получать больше информации из полученных данных. Это дает возможность более детально анализировать физические процессы, протекающие при эксплуатации изделия, и более гибко настраивать процесс поиска оптимального решения.

- Оценка аэродинамических характеристик модели фюзеляжа и стабилизатора вместе требует уточнения, так как это критические режимы работы аэродинамического профиля.

- Разработанная методика численного анализа аэродинамических характеристик модели фюзеляжа вертолета с помощью *Simcenter STAR-CCM+* может быть в дальнейшем применена и на других вариантах конструктивных решений и других масштабах. Это достигается за счет гибкой настройки автоматических средств подготовки расчетной модели и масштабируемости используемых алгоритмов. 



ADVANCE ENGINEERING

Solution Partner
Smart Expert
Digital Industries Software

SIEMENS

Комплексный подход к внедрению решений **Simcenter™**

advengineering.ru