

УДК 004.054

Земсков Юрий Владимирович и.о. зав. кафедрой №8, ФГБОУ ВО СПбГУ ГА

им. А. А. Новикова

Шокин Дмитрий Эдуардович студенты ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А. А.

Новикова

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АЭРОГИДРОДИНАМИКИ ANSYS FLUENT С SOLIDWORKS, XFLR5

Аннотация. В данной статье приводится описание трех инженерных программ: ANSYS FLUENT, SOLIDWORKS, XFLR5. Выбранные программы предназначены для численного моделирования течения жидкостей и газов, а также теплопередачи в инженерных расчетах, 3D-моделирования и проектирования при создании машиностроительных и электронных продуктов, аэродинамического анализа при оптимизации профилей крыльев и конструкций летательных аппаратов.

В статье представлено описание возможностей данных программных комплексов, приводится их сравнительный анализ, где указываются достоинства и недостатки каждой из систем и в результате подводятся итоги по результатам сравнения.

Ключевые слова: Ansys Fluent, Solidworks, XFLR5, аэрогидродинамика, подъемная сила, силы сопротивления крыла аэродинамического профиля.

Annotation. This article describes three engineering programs: ANSYS FLUENT, SOLIDWORKS, and XFLR5. The selected programs are designed for numerical modeling of the flow of liquids and gases, as well as heat transfer in engineering calculations, 3D modeling and design in the creation of machine-building and electronic products, aerodynamic analysis in optimizing wing profiles and aircraft structures.

The article describes the capabilities of these software systems, provides their comparative analysis, which indicates the advantages and disadvantages of each of the systems and summarizes the results of the comparison.

Keywords: Ansys Fluent, Solidworks, XFLR5, aerohydrodynamics, lifting force, drag forces of the airfoil wing.

Введение:

В настоящее время разработка и улучшение методов численного моделирования течения жидкостей и газов имеет решающее значение для широкого спектра научных и инженерных проблем. Моделирование течений является неотъемлемой частью исследований в области физики, химии, биологии, инженерии и многих других сферах. Существует множество программ для численного моделирования, каждая из которых имеет свои преимущества и ограничения. В данной работе мы рассмотрим и сравним три таких программы, а именно Ansys Fluent, Solidworks и Xflr5. Проанализировав их особенности и результаты исследования, мы сможем выявить их преимущества и недостатки, а также определить применимость этих программных комплексов в конкретных исследованиях. Целью данной работы является обзор и сравнительный анализ выбранных программ, а также выявление их потенциала для максимально точного и надежного моделирования течения жидкостей и газов.

1. Верификация и валидация методов прямого численного моделирования.

В настоящее время методы прямого численного моделирования (DNS – Direct Numerical Simulation), применяемые для решения задач вычислительной гидродинамики (CFD – Computational Fluid Dynamics), активно развиваются в связи с технологическим прогрессом в области вычислительной техники. Этот прогресс позволяет использовать DNS-методы непосредственно благодаря возможности их самостоятельной реализации. Современные разработки включают расширение области применения этих методов, в том числе создание программного обеспечения для расчетов многофазных и многокомпонентных течений в сложной геометрии.

Первым существенным аспектом прямого численного моделирования является неопределенность понятия сходимости для DNS-методов. В основном,

DNS-методы предназначены для анализа турбулентных течений, которые характеризуются локальной неустойчивостью. Такие методы могут также применяться для расчетов ламинарных течений, но в этом случае различий между DNS и другими методами вычислительной гидродинамики практически нет. DNS-метод стремится к получению результатов "из первых принципов", где численное решение должно в точности отражать свойства реального течения. Это предполагает, что любой метод, претендующий на моделирование турбулентного течения "из первых принципов", должен демонстрировать неустойчивость к малым возмущениям в расчетной карте течения. Однако при использовании методов регуляризации для подавления неустойчивости, эти методы, даже если они обеспечивают сходимость, не могут считаться методами, построенными "из первых принципов", так как они включают искусственные элементы, влияющие на результат, и их решения не имеют основных свойств исходных уравнений и реальных течений. Следует отметить, что нефизическая устойчивость к малым возмущениям может возникнуть в методе неявно, через выбор аппроксимации исходных уравнений. Попытка отказаться от поточечной сходимости, оставив требование сходимости в отношении некоторых средних характеристик потока, влечет за собой новые проблемы, такие как отсутствие ясного набора величин, к которым должен сходиться метод.

Вторая серьезная проблема, связанная с сходимостью, связана с общими свойствами уравнений гидродинамики. Вопрос о сходимости решения и его свойствах (единственность, устойчивость, степень гладкости) требует дополнительных исследований. Ответы на эти вопросы могут быть получены через валидацию метода на экспериментальных данных, исключив таким образом ограничения расчётно-аналитической верификации в области турбулентных течений. Важность экспериментальной валидации подчеркивается тем, что отсутствие точных аналитических решений исходных уравнений гидродинамики в области турбулентных течений делает этот метод единственно возможным способом подтверждения применимости DNS-метода. Отказ от стремления к "априорно корректному" методу и учёт экспериментальных

результатов могут расширить класс методов прямого численного моделирования и упростить их применение в задачах, не требующих строгого теоретического обоснования.

2. Представление функциональных возможностей систем Ansys Fluent, Solid Works, XFLR5

ANSYS Fluent представляет собой программное обеспечение для численного моделирования течения жидкостей и теплопередачи, широко применяемое в инженерных расчетах. Разработанная компанией ANSYS, программа базируется на методах решения уравнений Навье-Стокса и предоставляет инженерам инструменты для анализа сложных гидродинамических явлений, оптимизации конструкций и моделирования тепловых процессов.

SOLIDWORKS — это программное обеспечение компьютерного-помощи-проектирования (СКП), разработанное компанией Dassault Systèmes SolidWorks Corp. Предназначено для 3D-моделирования, проектирования и создания технической документации. SOLIDWORKS обеспечивает инженерам и дизайнерам интегрированный инструментарий для эффективного создания сложных инженерных конструкций, анализа прочности, и автоматизированного процесса создания технической документации.

XFLR5 представляет собой программу для аэродинамического анализа, специализирующуюся на профилях крыльев и летательных аппаратах. Разработана Марком Дрейпером и предоставляет инженерам и дизайнерам инструменты для моделирования и оптимизации аэродинамических характеристик, таких как подъемная сила и сопротивление. Программа активно используется в авиационной индустрии для создания и анализа профилей крыльев и определения их эффективности.

На рис.1 и рис.2, рис.3 представлены интерфейсы программных комплексов Ansys Fluent, Solidworks, XFLR5.

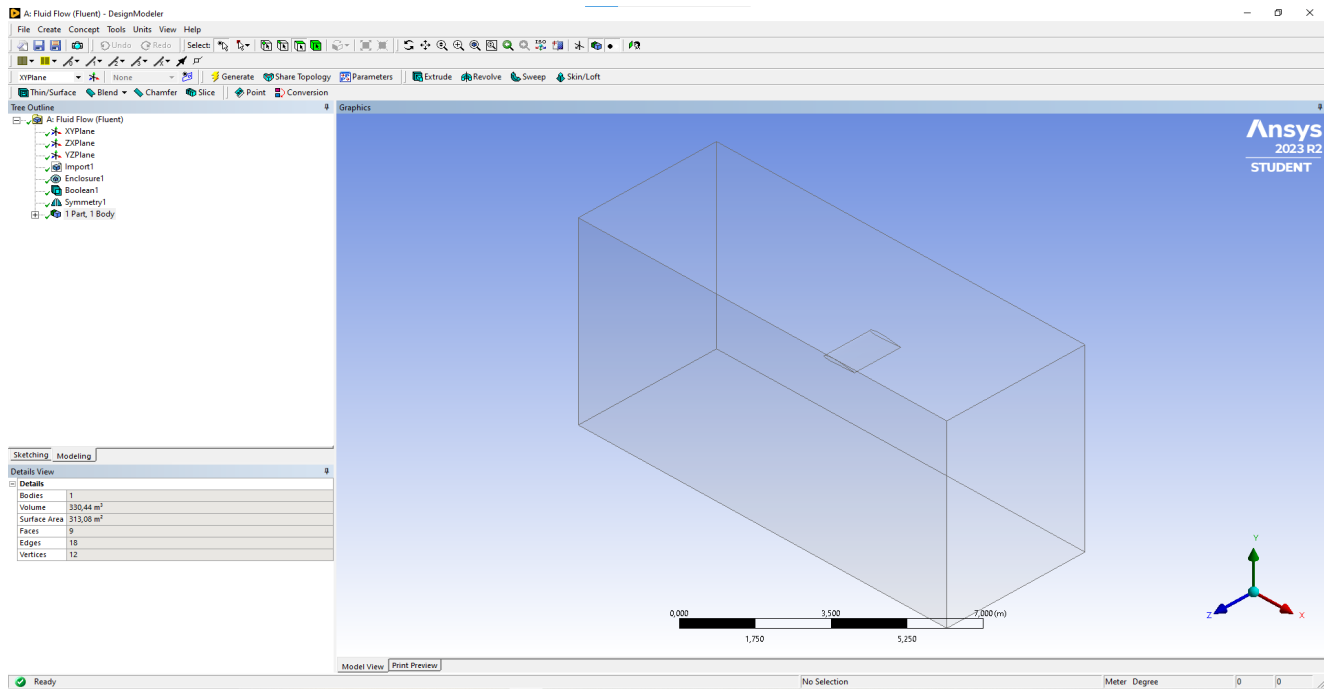


Рисунок 1. Интерфейс программного комплекса Ansys Fluent.

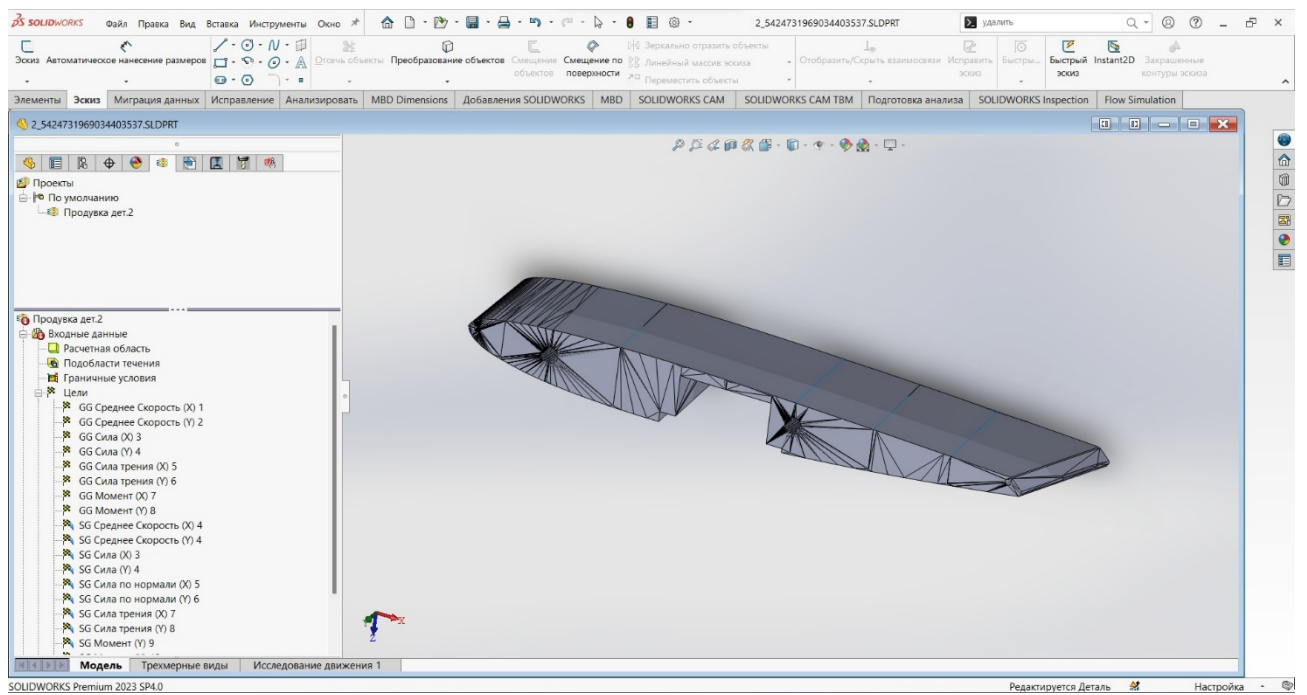


Рисунок 2. Интерфейс программного комплекса SolidWorks.

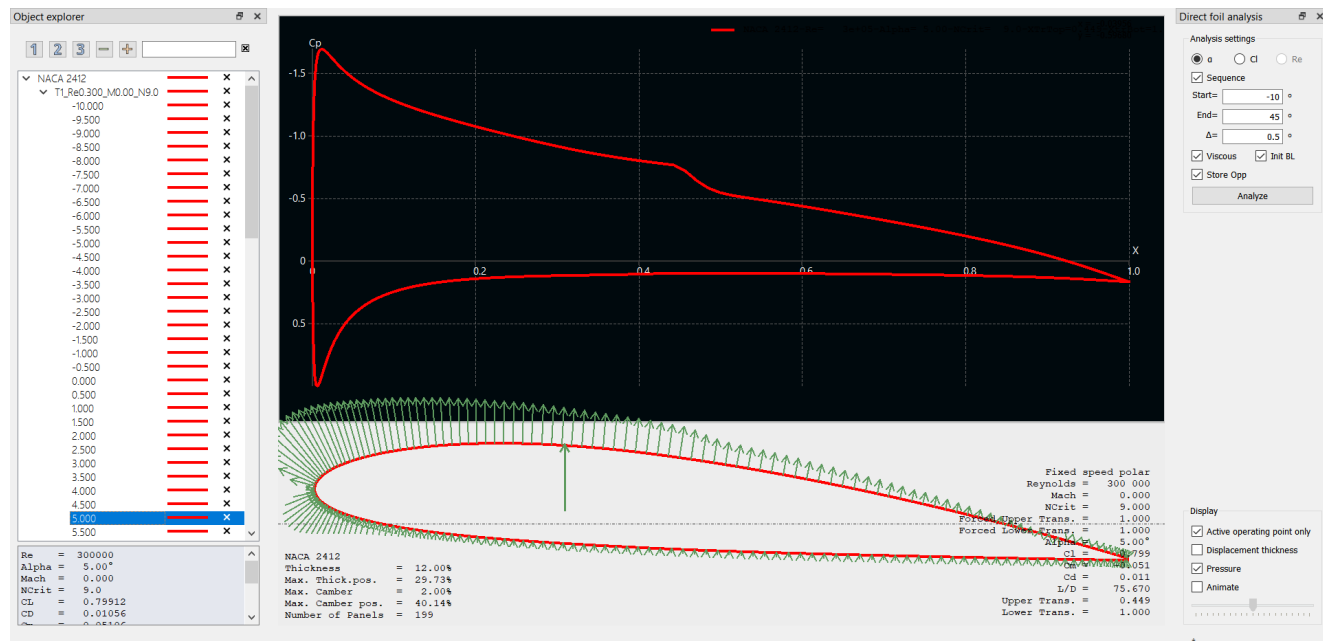


Рисунок 3. Интерфейс программного комплекса XFLR5.

В программной системе Ansys Fluent поддерживаются:

- Анализ механических характеристик;
- Анализ теплового режима;
- Анализ гидродинамики;
- Анализ электрических характеристик;
- Стационарные анализы;
- Линейные анализы;
- Анализ акустики.

В связи с тем, что среда ANSYS является зарубежной разработкой, следует отметить, что в данной программе отсутствует русифицированный интерфейс, что несколько осложняет работу в данной среде нашим соотечественникам. Полные аналитические данные о ANSYS представлены в [4] и [5].

Виды исследований в Solidworks Simulation:

- Статические исследования;
- Частотные исследования;
- Исследования потери устойчивости;

- Исследования на термическую нагрузку;
- Операции на удары;
- Исследования на усталость изделия;
- Расчёт нелинейных систем;
- Исследования на динамическую нагрузку;
- Оптимизация параметров устройства;
- Исследования для сосудов с высоким давлением

В SolidWorks применяется обычное командное меню, в которое входит:

- Раздел исследований;
- Главное поле;
- Различные инструменты [1]

В модуле Simulation можно производить действия над всеми компонентами SolidWorks. К ним относятся: вершины, кромки, грани, оси, плоскости, системы координат и т.п. На одних действуют граничные условия, на других силы и перемещения. Подробно о SolidWorks расписано в [1], [2] и [3].

Программная среда XFLR5 способна на:

1. Исследование аэродинамических характеристик профиля.
2. Оптимизацию формы крыла.
3. Анализ вихревой структуры.
- 4.Оценку влияния изменений параметров на аэродинамические характеристики летательного аппарата в упрощённой форме.

В программе отсутствует русифицированный интерфейс, что может помешать новичку.

3. Сравнение программных сред

В ходе исследования был произведён анализ обдувки фрагмента крыла с профилем NACA 2412 в системах SolidWorks, ANSYS и XFLR5. В данном пункте показаны принципиальные различия при анализе аэродинамики в рассматриваемых программах

Самым первым, что бросается в глаза при работе с вышеперечисленными программами - это наличие русифицированного интерфейса, так, в программных средах ANSYS и XFLR5 он отсутствует, что несколько усложняет работу с данными программами. Программный интерфейс SolidWorks адаптирован для российских пользователей и сложности работы в них не возникает.

Производить сравнение в вышеперечисленных системах, будем по результатам вычислений подъемной силы и сопротивления крыла аэродинамического профиля, а также по потраченному времени на получение результатов.

ANSYS FLUENT

Начнем с программы ANSYS. В качестве примера, во всех трех программах возьмем действующее крыло самолета NACA 2412.

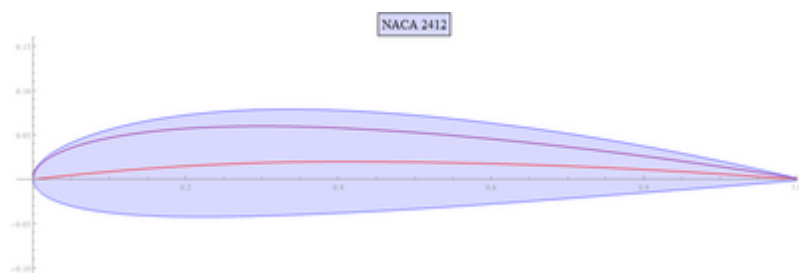


Рисунок 3. Wing NACA 2412.

Сделав геометрию нашего крыла, и для него сетку, мы переходим к обдувке крыла.

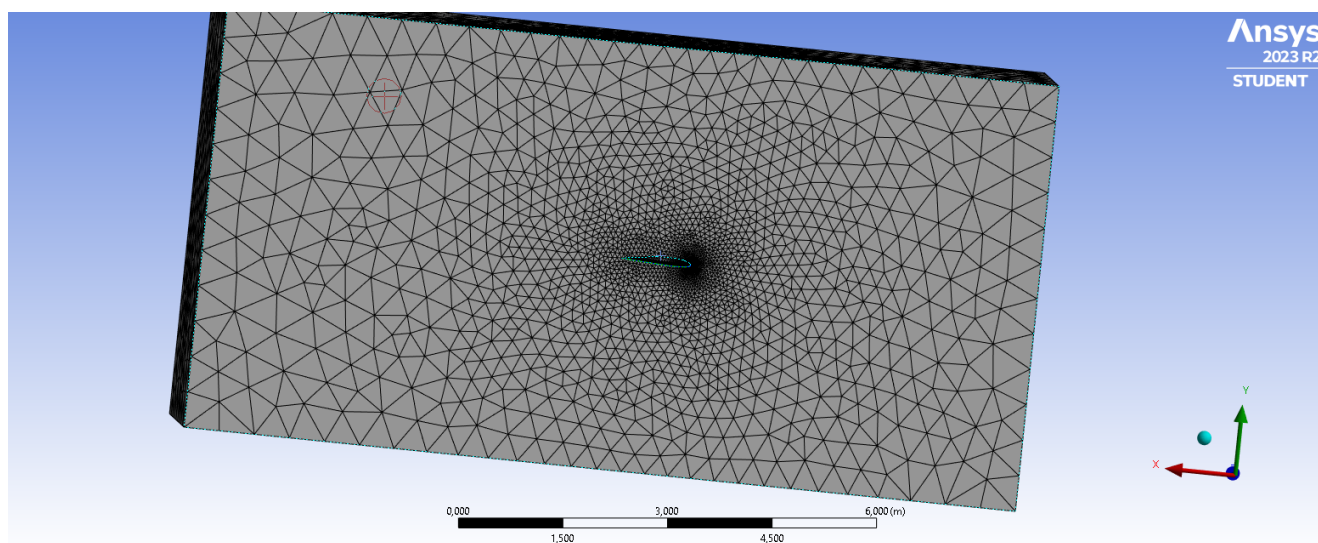


Рисунок 4. Сетка.

Для вычисления наших параметров, мы задаем свойства скорости по координате $X = 20 \text{ m/s}$. И запускаем программу на вычисление, использовав 60 итераций.

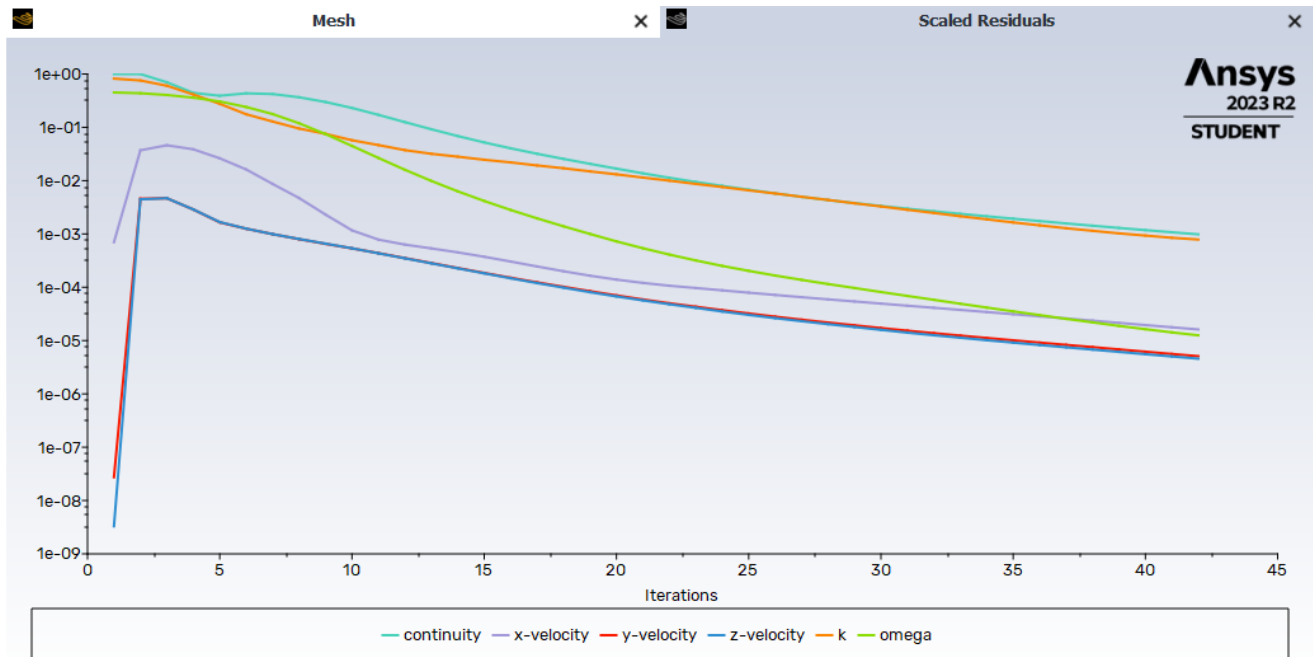


Рисунок 5. График остатков.

График остатков – это не что иное, как разница между фактическими и расчетными значениями. Если он близится к нулевому значению, значит мы верно настроили сетку и граничные условия.

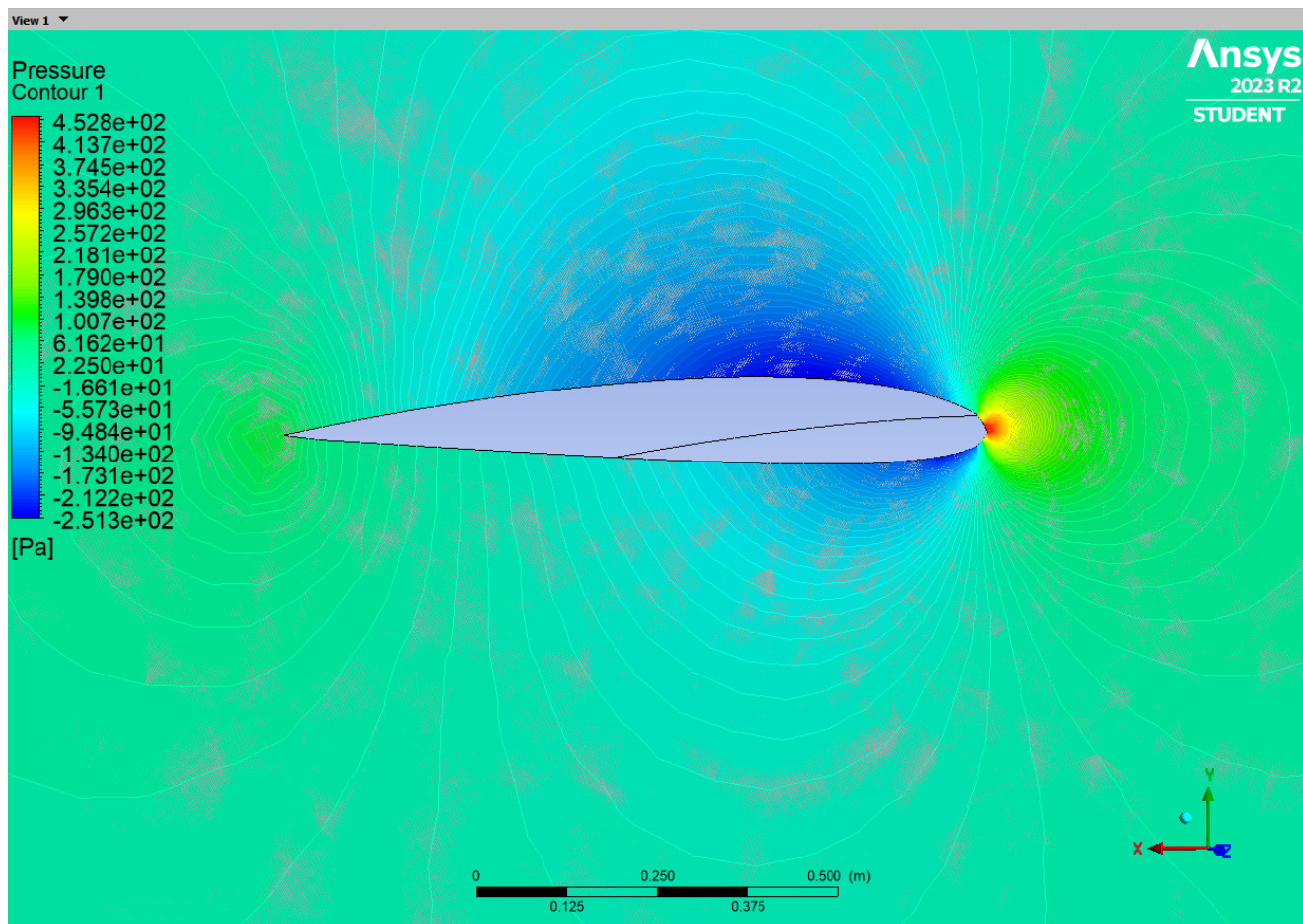


Рисунок 6. Распределение давления на крыло.

На рис.6 вы можете увидеть распределение давления на крыле. Существует множество теорий, объясняющих, как аэродинамический профиль способен создавать подъемную силу. Одна из популярных теорий состоит в том, что область низкого давления создается в верхней части профиля, а область высокого давления снизу крыла. Это толкает профиль снизу-вверх и, следовательно, создается подъемная сила. Вот расчеты подъемной силы.

Результаты расчета, показывают, что подъемная сила равна 47.047 [Н].

Результат расчета силы сопротивления крыла аэродинамического профиля равен 9,60061 [Н].

SolidWorks

Далее рассмотрим решение в программе SolidWorks. Сделав геометрию нашего крыла и сетку, мы переходим к обдувке крыла.

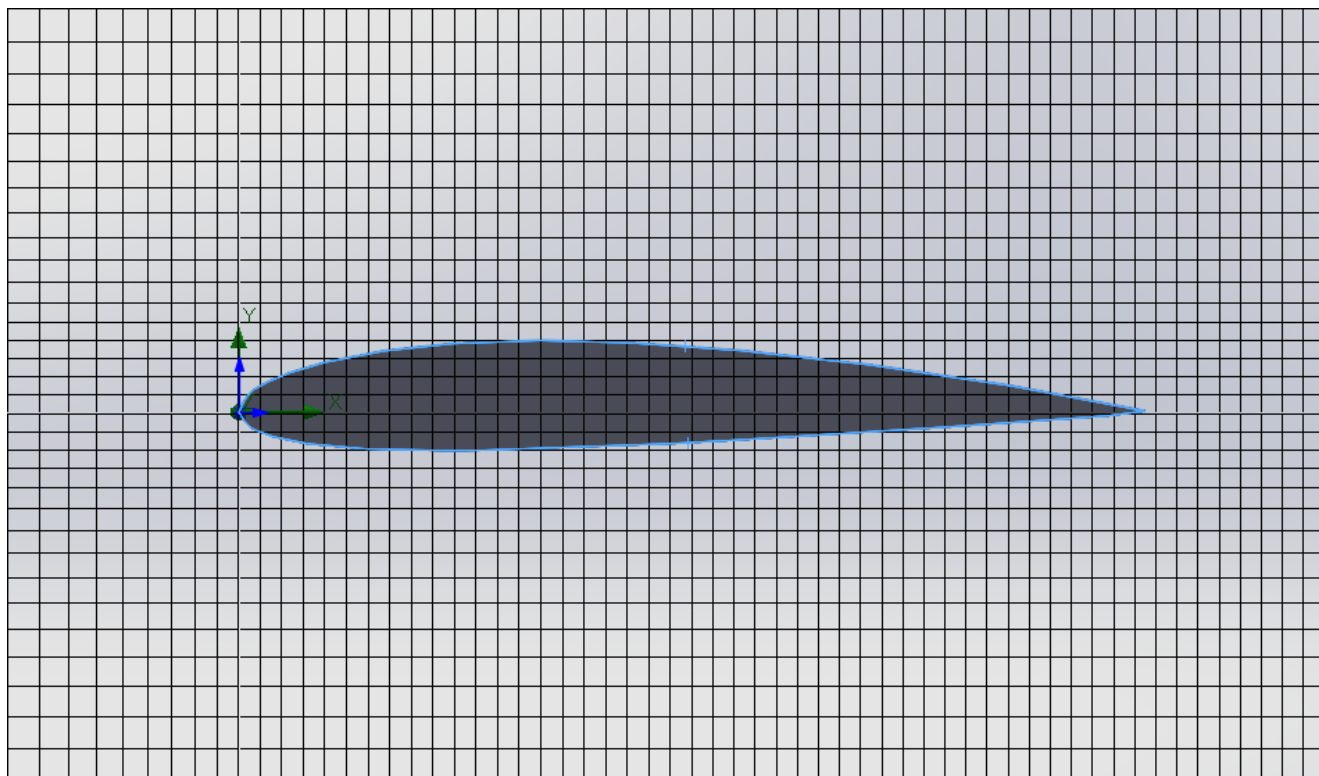


Рисунок 7. Сетка.

Для вычислений наших параметров, мы задаем свойства скорости по координате $X = 20$ m/s. И запускаем нашу программу на вычисление, используя 60 итераций

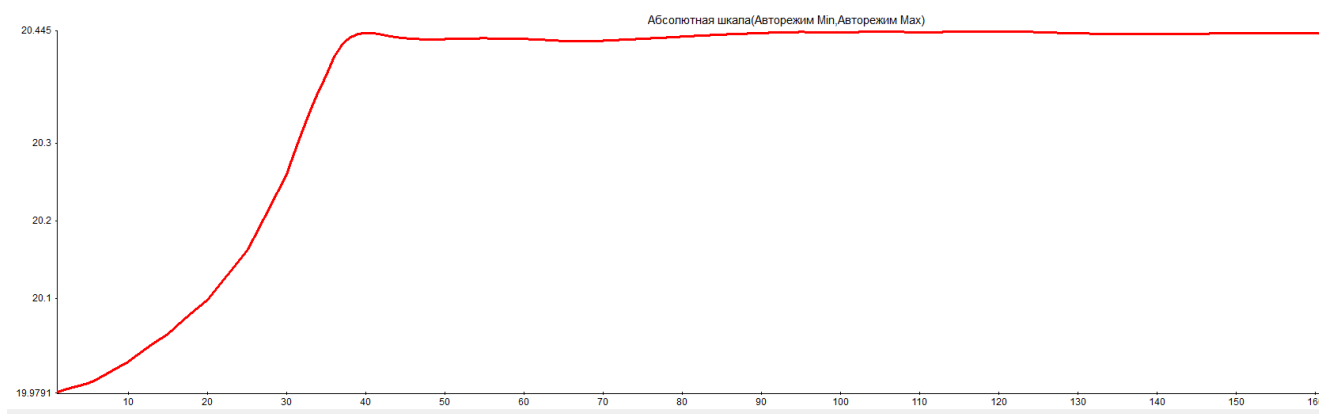


Рисунок 8. График цели (Абсолютная шкала).

График цели – отображаются диаграмма сходимости целей, текущее значение параметра, прогресс сходимости цели, размах амплитуды колебаний усредненного значения цели. Который определяется на интервале анализа, а также критерия сходимости цели.

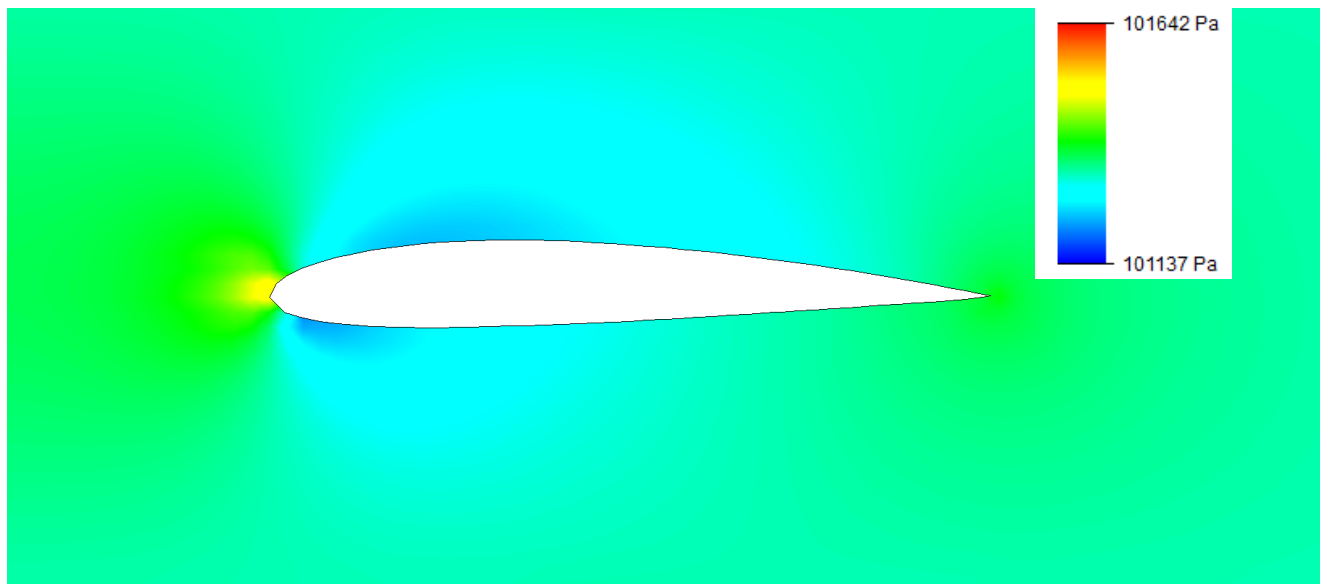


Рисунок 9. Распределение давления на крыло.

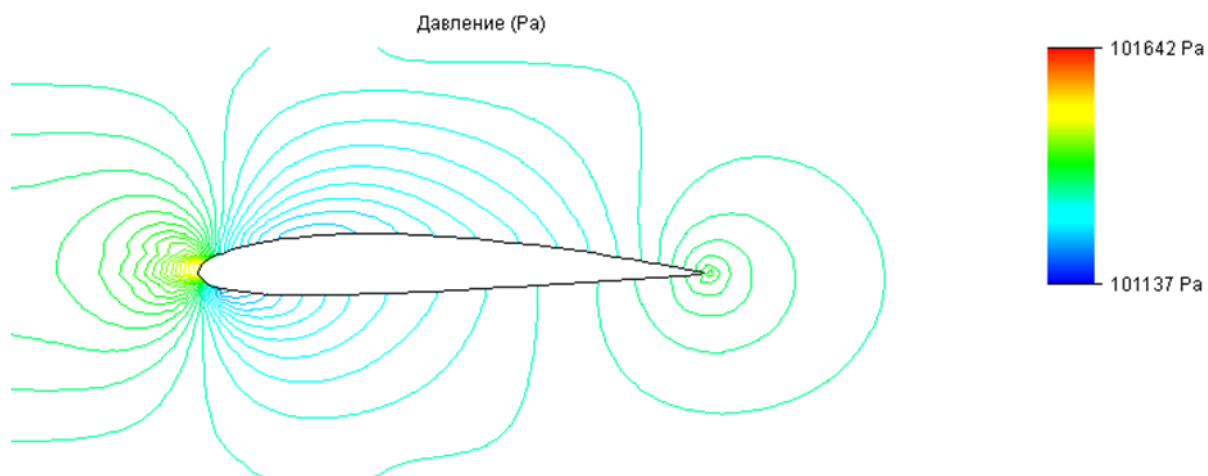


Рисунок 10. Распределение давления на крыло (Изолинии).

На рисунке 11 и на рисунке 12 вы можете увидеть распределение давления на крыло, как оно распределяется на передней и задней части аэродинамического профиля в SolidWorks. При постановке задачи было обозначено статическое давление: 101325.00 [Pa], которое равно стандартному давлению на Земле 760 мм ртутного столба.

Имя	Текущее значение	Прогресс сходимос...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (X) 5	10.4346 N	Достигнуто (IT = 177)	4.50888 N	10.3914 N
GG Сила (Y) 7	45.2316 N	Достигнуто (IT = 177)	5.46661 N	45.191 N

Рисунок 11 Коэффициента подъемной силы крыла силы сопротивления крыла аэродинамического профиля

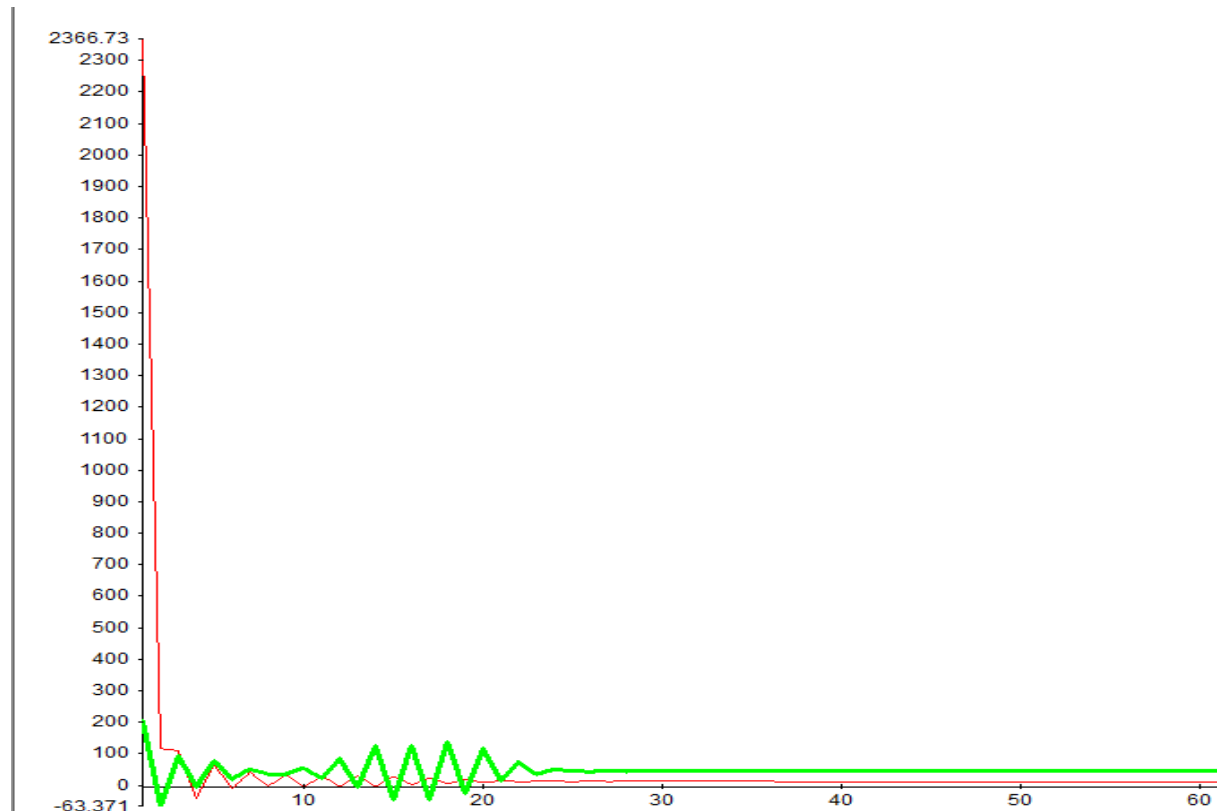


Рисунок 12. График коэффициента подъемной силы крыла и силы сопротивления крыла аэродинамического профиля.

Результаты расчета, показывают, что подъемная сила равна 45.191[Н]
 Результат расчета силы сопротивления крыла аэродинамического профиля равен 10.3914[Н].

Также в SolidWorks можно вывести отчет, в котором будут приведены изначальные параметры системы: внешние условия, настройки материала, цели, опции управления расчетом, инженерная база данных. В инженерной базе данных выводятся графики.

XFLR5

Построим фрагмент крыла с указанным выше профилем в программе XFLR5, для этого на сайте airfoiltools.com находим профиль NACA 2412, копируем координаты каждой его точки и с помощью создания файла формата .dat интегрируем профиль в виртуальную среду. Затем необходимо выполнить продувку профиля на разных углах атаки на числах Рейнольдса от 30 тысяч, до 3 миллионов. Это нужно, чтобы у программы были необходимые

данные для дальнейших вычислений. (рис.14)

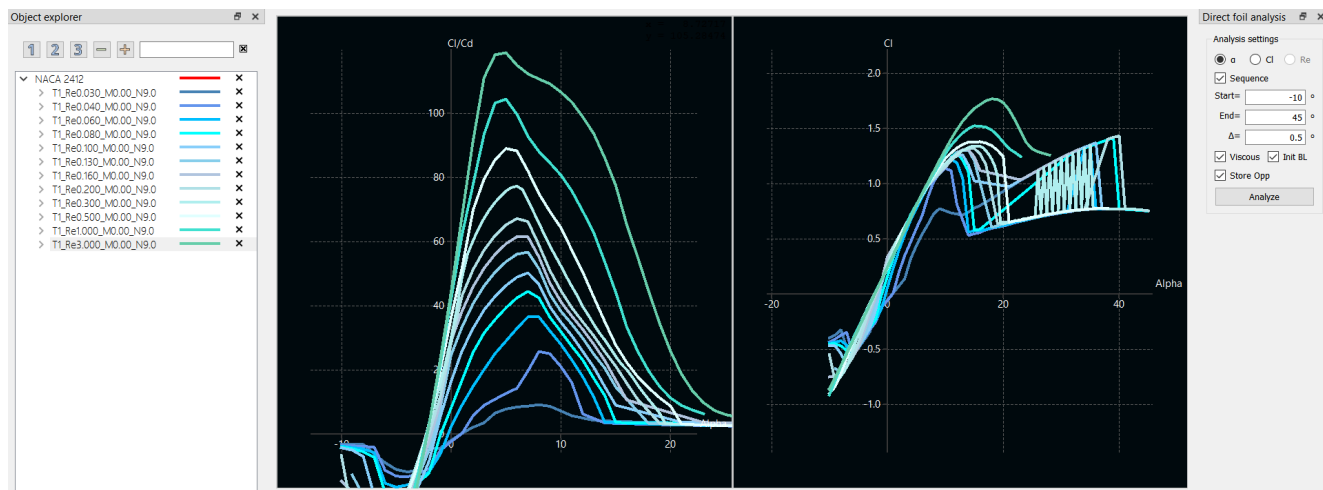


Рисунок 13. Аэродинамические коэффициенты исследуемого профиля.

Затем необходимо перейти во вкладку «Plane», в ней построить крыло тех же размеров, как и в предыдущих продувках (Размах 1500мм, хорда 2150мм). После выставления заданных условий обтекающего воздуха производим продувку, по результатам которой получаем следующие графики зависимости сил X и Y от скорости, так как в данный момент мы продуваем крыло только на одной скорости и на угле атаки равном 0, то вместо графика получена точка, по местоположению которой уже можно судить о возникающих силах. (Рис 15)

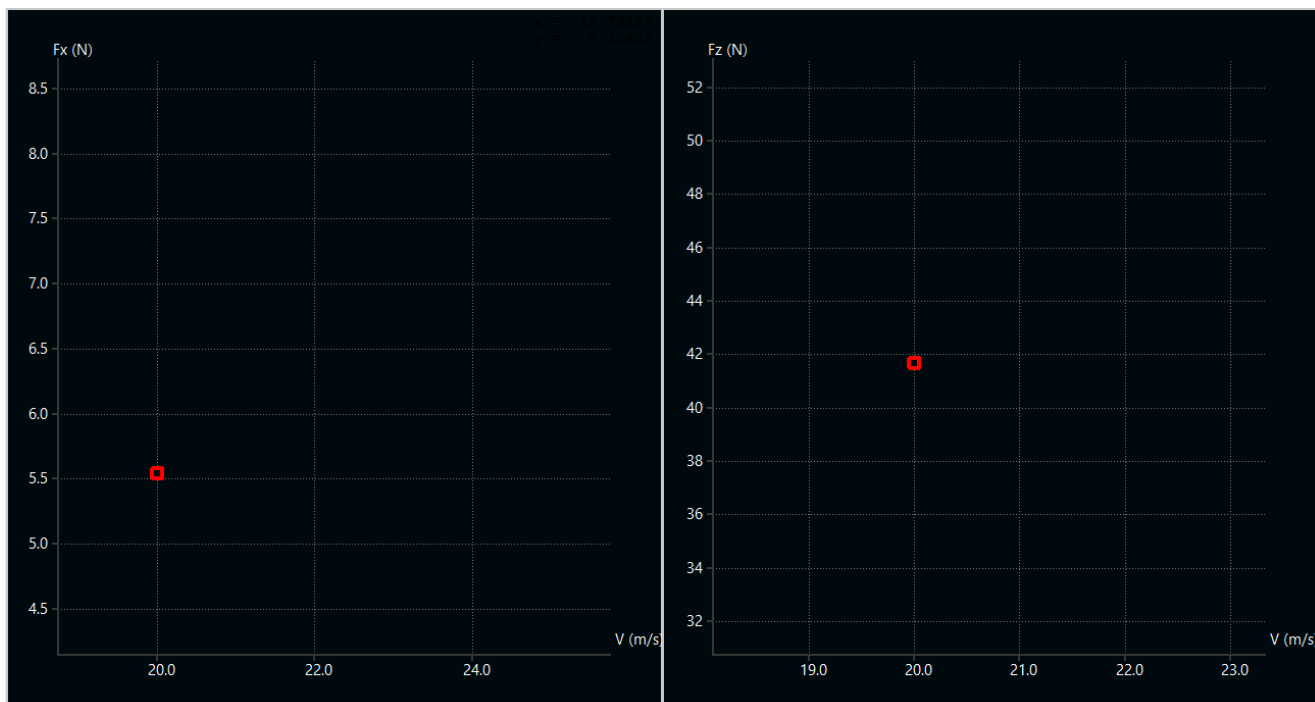


Рисунок 14. Числовые результаты продувки.

Как видно из графиков, сила лобового сопротивления $X=5.6[N]$; подъёмная сила крыла $Y = 41.9[N]$. Стоит заметить, что время каждого из расчетов не превысило 10 секунд.

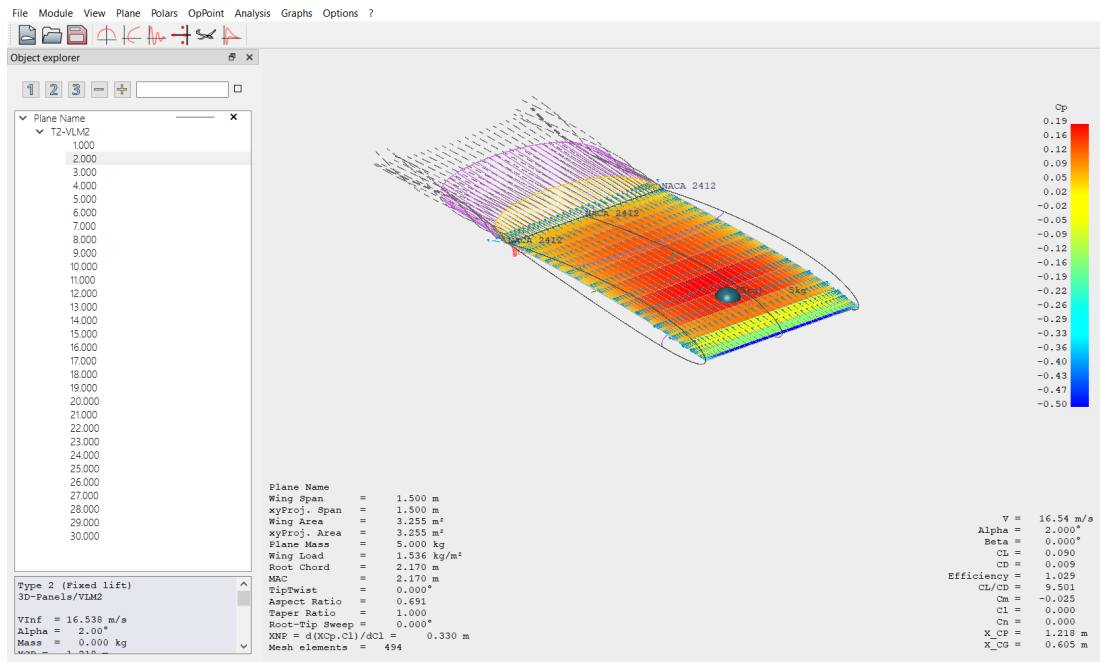


Рисунок 15. Пример визуальной демонстрации распределения давлений на крыле.

Таблица 1

Сравнение программных продуктов SolidWorks, ANSYS

	SolidWorks	ANSYS	XFLR5
Стоимость лицен- зии (руб.)	148800	3000000	бесплатная
Поддерживаемые системы единиц	СИ (МКС); СГС; ммГС; ДФС	СИ (МКС); ДФС; ДФ-МС; ммКС; ммНС; СГС ФФС;	СИ (МКС); СГС
Поддерживаемые форматы файлов	sat; ai; psd; dxf;	prt; asm; frm; mfg;	.dat .xflr5

	dwg; hsf; emn; brd; bdf; idb; ifc; igs; iges; jpg; pdf; 3dm; stp; step; stl; tif; vda; mts; wrl; xml;	lay; sec; int; g; tmu; tmz; cem; bdl; pkg; sdp; sda; sdac; sdpc; igs; iges; vda; dxf; ibl; pts; rwd; rwt; mrs; xdb; stp; step;	
		cgm; wrl; dwg emn; sldprt; sldasm; 3dm; par; sla	
Русифицированный интерфейс	Да	Нет	нет
Способ решения алгоритмов	МКЭ	МКЭ	МКЭ
Виды проводимых анализов	Статические; Частотные; Устойчивость;	Анализ механических характеристик; Анализ теплового режима;	Аэродинамический анализ

	<p>Термическая нагрузка;</p> <p>Операции на удары;</p> <p>Усталость;</p> <p>Расчёт нелинейных систем;</p> <p>Динамическая нагрузка;</p> <p>Оптимизация параметров;</p> <p>Исследования для сосудов с высоким давлением;</p>	<p>Анализ гидродинамики;</p> <p>Анализ электрических характеристик;</p> <p>Стационарные анализы;</p> <p>Линейные анализы;</p> <p>Анализ акустики.</p> <p>Анализ электромагнитного поля</p>	
Взаимодействие с КЭС	Можно регулировать частоту и размер сетки на определенных участках конструкции	Можно регулировать частоту и размер сетки на определенных участках конструкции	Можно регулировать число поверхностей профиля
Анимация модели	Да	Да	Да
Выявление противоречивых нагрузок	Да	Да	Нет
Аттестация министерством обороны	Нет	Нет	Нет
Электронно-компонентная база	Да	Нет	Нет
Учитываются ли особенности свойств материалов	Нет	Нет	Нет

4. Основные достоинства и недостатки программных комплексов

ANSYS Fluent:

Достоинства:

- Высокая точность: ANSYS Fluent использует численные методы решения уравнений Навье-Стокса, обеспечивая высокую точность при моделировании сложных течений и теплопередачи.
- К достоинствам программного пакета ANSYS можно отнести удобный интерфейс, постоянные обновления и техническую

поддержку, а также возможность работы в данном комплексе с различными типами файлов.

- Разнообразные приложения: Программа применяется в различных отраслях, включая авиацию, энергетику и химическую промышленность.

Недостатки:

- Сложность использования: Высокая функциональность ANSYS Fluent может быть сложной для освоения новичками.
- Высокие требования к вычислительным ресурсам: Решение сложных задач требует значительных вычислительных мощностей.

SOLIDWORKS:

Достоинства:

- Интегрированный подход: SOLIDWORKS предоставляет полный набор инструментов для 3D-моделирования, анализа и документирования, интегрированных в единую среду.
- Широкое распространение: Эффективно используется в инженерных отраслях по всему миру, обеспечивая стандарты проектирования.

Недостатки:

- Высокая стоимость: Лицензии SOLIDWORKS могут быть затратными, особенно для малых предприятий.
- Ограниченная поддержка в некоторых областях анализа: Несмотря на функции анализа прочности, для некоторых специализированных задач требуется использование дополнительных инструментов.

XFLR5:

Достоинства:

- Специализированный аэродинамический анализ: XFLR5 предоставляет точные инструменты для аэродинамического анализа профилей крыльев, что важно в авиационной индустрии.
- Открытое программное обеспечение: Бесплатная доступность и открытый исходный код способствуют активному использованию и улучшению программы.
- Крайне низкие требования к производительности аппаратной платформы
- Быстрая скорость продувки, не превышающая пары минут даже на самых высоких точностях.

Недостатки:

- Ограниченные возможности: XFLR5 ориентирована на аэродинамический анализ профилей и может оказаться ограниченной для более широких инженерных задач.
- Требуется экспертиза: Использование программы требует определенного уровня экспертизы в области аэродинамики. Точность оставляет желать лучшего.

Заключение:

В ходе проведённого анализа выяснили, что методы прямого численного моделирования (DNS) в вычислительной гидродинамике находятся в стадии активного развития. Однако эти методы сталкиваются с фундаментальными проблемами, такими как неопределенность сходимости и баланс между точностью и численной стабильностью. Экспериментальная валидация остается ключевым элементом для подтверждения применимости DNS-методов, учитывая отсутствие точных аналитических решений в области турбулентных течений. Ориентирование на экспериментальные данные может расширить область применения DNS-методов в практических задачах. Тем не менее, для преодоления вызовов, связанных с неопределенностью сходимости и

обеспечением соответствия реальным результатам, требуются дальнейшие исследования и совершенствование методов. В ходе проводимого исследования были рассмотрены такие программные среды, как SolidWorks, ANSYS и XFLR5, представлены их основные характеристики и выявлены достоинства и недостатки. В ходе произведенного анализа было выявлено следующее: в отношении "цена/качество" наилучшей программой является SolidWorks. Так, SolidWorks имеет наименьшую цену и немного уменьшенный функционал в сравнении со своими конкурентами, например, меньшее количество поддерживаемых систем исчислений. На следующее место можно поставить ANSYS, по своим функциональным особенностям он мало отличается от других программных продуктов, но из-за высокой стоимости лицензии использует данные программы ограниченный круг зарубежных компаний. Для инженеров, занимающихся проектированием и разработкой новых устройств, можно порекомендовать программный комплекс Ansys. Данная программа имеет обширный функционал, благодаря которому возможно производить как стандартные исследования механических характеристик или тепловых анализов, так и специфические исследования. Данную рекомендацию подтверждает тот факт, что рассматриваемый программный продукт уже используется на многих предприятиях и зарекомендовал себя с наилучшей стороны. Ну и на третье место было решено поставить программу XFLR5, которая больше предназначена для любительских вычислений по причине низкой их точности и большой погрешности, однако это компенсируется открытостью ПО и простотой освоения для начинающих пользователей.

Список литературы

1. Зиновьев Д. Основы моделирования в SolidWorks. М.: Vertex, 2017. 277 с.
2. Дударева Н.Ю., Загайко С.А. Самоучитель SolidWorks 2007. СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2007. 1308 с.
3. Бочков А.Л., Большаков В.П., Лячек Ю.Т. Твердотельное моделирование деталей в CAD-системах: AutoCAD, Компас-3D, SolidWorks, Inventor, Creo: учеб. пособие. СПб.: Изд-во «Питер», 2014. 480 с
4. Басов К.А. ANSYS и LMSVirtualLab. Геометрическое моделирование. М.:

ДМК Пресс, 2006. С. 240.

5. Басов К.А. ANSYS для конструкторов. М.: ДМК Пресс, 2009. С. 248.

6. Статья Катковский С. Е. О необходимости верификации и валидации методов прямого численного моделирования вычислительной гидродинамики // Ядерная и радиационная безопасность. 2021. № 3 (101). С. 16–25

References

1. D. Zinoviev. Fundamentals of modeling in SolidWorks, Jr.: Vertex, 2017. 277 p.

2. Dudareva N.Yu., Zagaykovsky S. / S.A. Samouchitel SolidWorks 2007. St. Petersburg: Publishing House BHV-Petersburg, 2007. 1308 P.

3. Bochkov A.L., Bolshakov V. N.P., Lyachek Yu.T. Solid-state modeling of parts in CAD systems: AutoCAD, Compass-3D, SolidWorks, Inventor, Creo: textbook. stipend. St. Petersburg: Publishing house "Peter", 2014. 480 p.

4. Basov K.A. ANSYS and LMSVirtualLab. Geometric modeling Ml.: DМК Press, 2006. I. 240.

5. Basov K.A. ANSYS for designers. Ml.: DМК Press, 2009. I. 248.

6. The article is devoted to Katkovsky S. E. On the impossibility of verification and validation of methods of direct numerical simulation of computational fluid dynamics // Nuclear and radiation safety. 2021. No. 3 (101). I. 16-25