

УДК 658.512.2

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ АВИАСТРОЕНИЯ

**Черноусов Егор Александрович**, студент, направление подготовки 24.03.04 Авиационное строительство, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: chernousov.rex2@gmail.com

Научный руководитель: **Семагина Юлия Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: semagina@mail.ru

***Аннотация.** Проектирование авиационных конструкций является комплексной задачей, в которой решаются вопросы прочности, износостойкости, правильного распределения нагрузок. Системы автоматизированного проектирования применяются совместно с системами инженерного анализа, что снижает время проектирования деталей и узлов, количество прототипов и ускоряет оптимизацию конструкции. В статье рассмотрены основные аспекты применения САПР в проектировании авиационных конструкций. Был проведен обзор рынка САПР, в котором САПР Компас 3D, разработанная компанией «Аскон», в большинстве случаев не уступает по функционалу аналогичным САПР как отечественной, так и зарубежной разработки. Приведен пример прочностного расчета пластины с использованием Компас-3D и ANSYS Static Structure.*

***Ключевые слова:** авиационные конструкции, САПР в Авиационном строительстве, проектирование, моделирование, программное обеспечение, деталь.*

***Для цитирования:** Черноусов Е. А. Системы автоматизированного проектирования в реализации задач авиационного строительства // Шаг в науку. – 2022. – № 4. – С. 81–86.*

## COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS IN THE IMPLEMENTATION OF AIRCRAFT ENGINEERING TASKS

**Chernousov Egor Aleksandrovich**, student, training program 24.03.04 Aircraft Engineering, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: chernousov.rex2@gmail.com

Research advisor: **Semagina Yulia Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer graphics, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: semagina@mail.ru

***Abstract.** Designing aircraft structures is a complex task, which addresses issues of strength, durability, proper distribution of loads. Computer-aided design systems are used in conjunction computer-aided engineering systems, which reduces the time to design parts and assemblies, the number of prototypes and accelerates design optimization. The article deals with the main aspects of CAD application in the design of aircraft structures. A review of the CAD market has been conducted, in which CAD Kompas-3D developed by Ascon, in most cases, is not inferior in functionality to similar CAD systems of both domestic and foreign development. An example of strength calculation of a plate using Kompas-3D and ANSYS Static Structure is given.*

***Key words:** aircraft structures, CAD in Aeronautics, designing, modelling, software, part.*

***Cite as:** Chernousov, E. A. (2022) [Computer-aided design systems in the implementation of aircraft engineering tasks]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 81–86.*

Под авиационной конструкцией понимается конструкция, устройство которой главным образом определяется действующими на нее внешними силами (нагрузками). Чаще всего при проекти-

ровании авиационных конструкций используется итерационный подход.

Проектирование авиационных конструкций можно осуществлять при помощи одного из двух

методов [1]. Традиционного (ручного) и с применением компьютеризации производства. В настоящее время все больше применяется второй метод. Долго примеры искать не придется – это отечественные самолеты Sukhoi Superjet 100 и MC-21, а также зарубежные Airbus A350 XWB, Boeing 777X и многие другие.

При традиционном подходе к проектированию создается множество физических моделей, на которых проводят испытания. Ввиду итерационного характера проектирования авиационных конструкций, количество моделей может превышать тысячи единиц [6].

Компьютеризация производства позволяет снизить количество испытаний до минимума. Прочностные, колебательные, газодинамические испытания проводятся в среде CAD/CAE комплексов [5].

Для участия в специализированных олимпиадах автору статьи понадобилась доступная и легкая в освоении САПР. Была изучена соответствующая научно-техническая литература и поставлена следующая цель: изучить рынок САПР и определить

ту, которая лучше всего подходит для проектирования авиационных конструкций, а также имеет свободную лицензию для энтузиастов и студентов.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

1. Сравнить САПР, применяемые в авиационной промышленности для проектирования и расчетов авиационных конструкций, и выбрать наиболее подходящую;

2. Провести пробное проектирование примера авиационной конструкции и определить оптимизированную методику расчетов на прочность с применением выбранной САПР.

Анализ литературных данных показал, что на данный момент в авиационной промышленности применяется множество различных CAD систем. Самыми известными из них являются Компас-3D, AutoCAD, SolidWorks и несколько менее распространенных, одна из них – T-FLEXCAD [2, 3]. В таблице 1 представлены основные CAD-системы, применяемые для решения задач авиастроения в 2021–2022 гг. в России.

Таблица 1. Основные CAD-системы, применяемые в промышленном производстве

Система	Разработчик	Лицензия	
		коммерческая	учебная
AutoCAD	Autodesk, США	Не распространяется и не продлевается с февраля 2022 года	
SolidWorks	Dassault Systemes, США	Не распространяется и не продлевается с февраля 2022 года	
Компас-3D	Аскон, Россия	169000 рублей/бессрочно	Бесплатно
T-Flex CAD	Топ Системы, Россия	149900 рублей/бессрочно	Бесплатно

Источник: разработано автором

AutoCAD – продукт компании Autodesk, является одной из самых распространенных CAD-систем в мире. В AutoCAD имеется возможность как двумерного, так и трехмерного моделирования. Изначально, при разработке данной системы, трехмерное моделирование не предусматривалось, а было добавлено позже, из-за этого оно реализовано немного хуже, чем в похожих CAD-системах. Также система имеет ряд специализированных приложений для различных отраслей промышленности (AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical и другие). На момент написания статьи лицензия, увы, более не распространяется в России [9].

SolidWorks – разработка компании Dassault Systemes. Активно применяется во всех отраслях промышленности, а также является любимой CAD-системой большинства энтузиастов, благодаря своему простому и понятному интерфейсу, а также наличию CAE модулей для симуляции газодинамики и прочности. В момент написания статьи покупка или продление лицензии в России невозможны [10].

T-FLEX CAD – САПР, разработанная компанией Топ-Системы. В настоящее время активно внедряется практически во всех видах производств как замена импортным решениям, таким, как – SolidWorks, AutoCAD и другие. Комплекс включает в себя как модули для двумерного, так и трехмерного моделирования, в целом, T-FLEX CAD очень схож по функционалу с Компас-3D, но учебная версия первой уступает второй системе по форматам сохранения файлов. То есть, экспорт геометрии из T-FLEX CAD учебной версии может быть несколько затруднителен [3].

Исходя из вышеперечисленного, энтузиастам, исследователям и промышленным предприятиям приходится переходить на отечественное программное обеспечение, в частности, Компас-3D.

В настоящий момент Компас-3D не только CAD-система, но и CAD/CAM/CAE комплекс, способный как формировать чертежи, спецификации, сопроводительную документацию, так и проводить инженерный анализ в модулях: Kompas Flow (для

экспресс анализа газо- гидродинамики), APM FEM (для экспресс анализа твердотельных объектов). Так же данная САПР имеет в себе интегрированные САМ-системы (системы для автоматизации разработки программ для станков с ЧПУ), большое число каталогов, справочников и так далее [4].

Проектирование авиационных конструкций, к сожалению, на данный момент сложно выполнять исключительно в системе Компас-3D. Для инженерных расчетов, зачастую, приходится использовать сторонние, более «тяжелые» (точные) CAE-комплексы, такие, как: ANSYS, NXCAE (NX Nastran).

ANSYS – Система инженерного анализа (CAE-система) разработки Ansys inc. Позволяет производить всевозможный спектр расчетов. От расчетов прочности до газодинамики турбомашин, поршневых агрегатов [7].

Примерно тем же функционалом, что и ANSYS, обладает система NX CAE, разработанная Siemens PLM Software.

Коммерческие версии обоих комплексов в данный момент недоступны в России, доступна лишь академическая версия ANSYS для студентов, которая распространяется с лицензией на один год [8]. В дальнейших расчетах использовалась академическая версия ANSYS и учебная версия Компас-3D.

Примером использования Компас-3D и ANSYS Static Structure (модуль ANSYS для расчетов на прочность) в проектировании авиационных конструкций послужит пластина с местным концентратором напряжений (отверстие). Это может быть часть стенки лонжерона или составной нервюры. (Нервюра – внутренний элемент крыла, передающий нагрузки от обшивки крыла к лонжерону. Нервюры могут быть как цельные, так и состоящие из нескольких частей – составные).

Исходная геометрия, построенная в Компас-3D, представлена на рисунке 1.

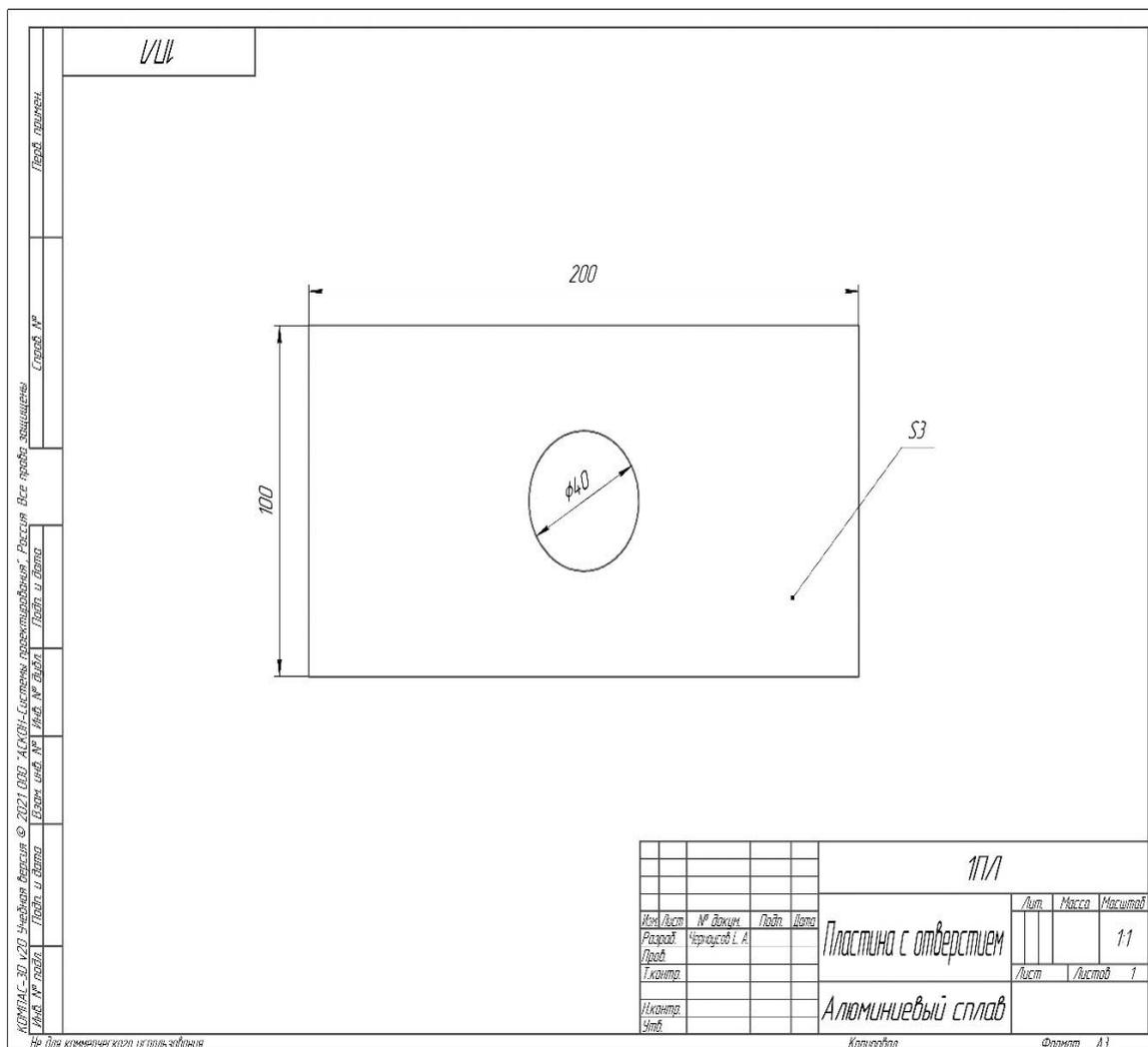


Рисунок 1. Исследуемая на прочность пластина  
 Источник: разработано автором

Входные данные к анализу представлены в таблице 2.

Таблица 2. Входные данные к анализу

Наименование	Значение
Материал	Алюминиевый сплав
Нагружение, Н	200
Направление	В отрицательном направлении оси Y
Места крепления	Жесткие, по малым сторонам пластины

*Источник: разработано автором*

После построения 3D модели в Компас-3D, производим импорт в ANSYS Static Structure в формате файла parasolid. Дискретизируем модель (разбива-

ем геометрию на множество частей) в модуле Mesh, настраиваем параметры нагружений и места заделки (крепления) (рисунок 2).

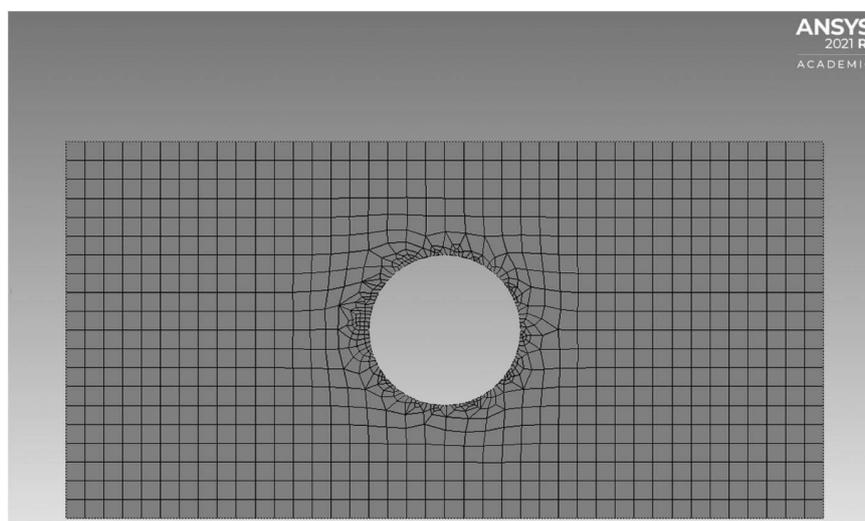


Рисунок 2. Общий вид построенной сетки

*Источник: разработано автором*

Производим расчет. В результате получаем картины эквивалентных напряжений и полной деформации пластины (рисунок 3, 4). Коэффициент масштаба деформации равен 21 (для более наглядной картины деформации).

Анализируя полученные данные, при необходимости, оптимизируем конструкцию. Если величины деформации не удовлетворяют требованиям – меняем исходную геометрию в Компас-3D, импортируем и повторяем расчет.

На подготовку к расчету и проведению расчета было потрачено на порядок меньше времени, чем понадобилось бы при традиционных расчетах.

Методику прочностного анализа возможно оптимизировать. При желании, это можно сделать, основываясь на материалах данной статьи.

Автор статьи надеется, что в будущем рынок САПР для студентов и энтузиастов в России станет шире и необходимые расчеты можно будет проводить не только в показанных в данной статье САПР,

но и во многих других, например, в Siemens NX.

### Выводы

1. Анализ научно-технической литературы показал, что применение CAD/CAE комплексов сокращает затраты времени на проектирование авиационных конструкций до минимума. Также на основании литературного обзора были определены САПР, наиболее часто использующиеся для реализации задач авиастроения;

2. Проведено сравнение вышеуказанных систем по критериям наличия возможности использования в России в текущей ситуации и предоставления студенческой лицензии. По мнению автора, единственным подходящим вариантом является система Компас-3D;

3. Было выяснено, что для осуществления прочностного расчета авиационной конструкции система Компас-3D не обладает достаточным функционалом, поэтому автор предлагает использовать

CAD-систему Компас-3D совместно с CAE-системой ANSYS;

ведения прочностного анализа авиационных конструкций с применением вышеуказанных САПР.

4. В статье предложены рекомендации для про-

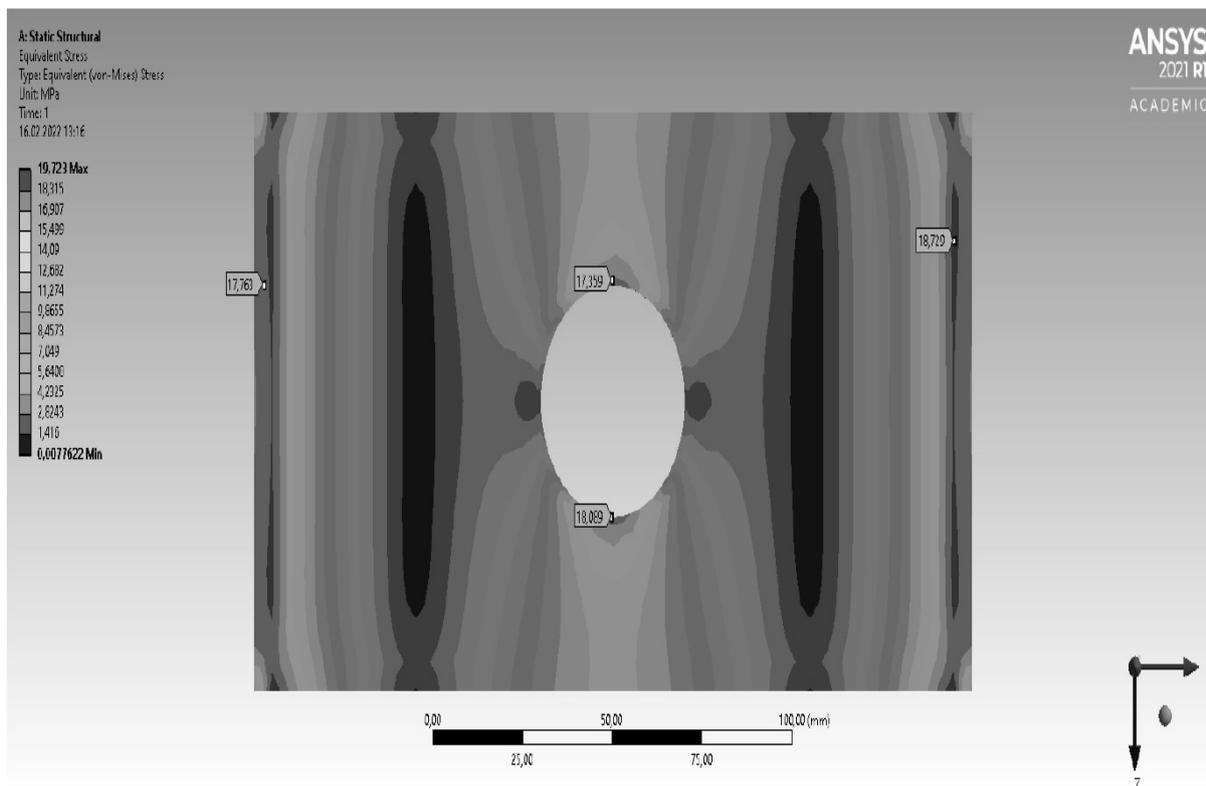


Рисунок 3. Картина эквивалентных напряжений

Источник: разработано автором

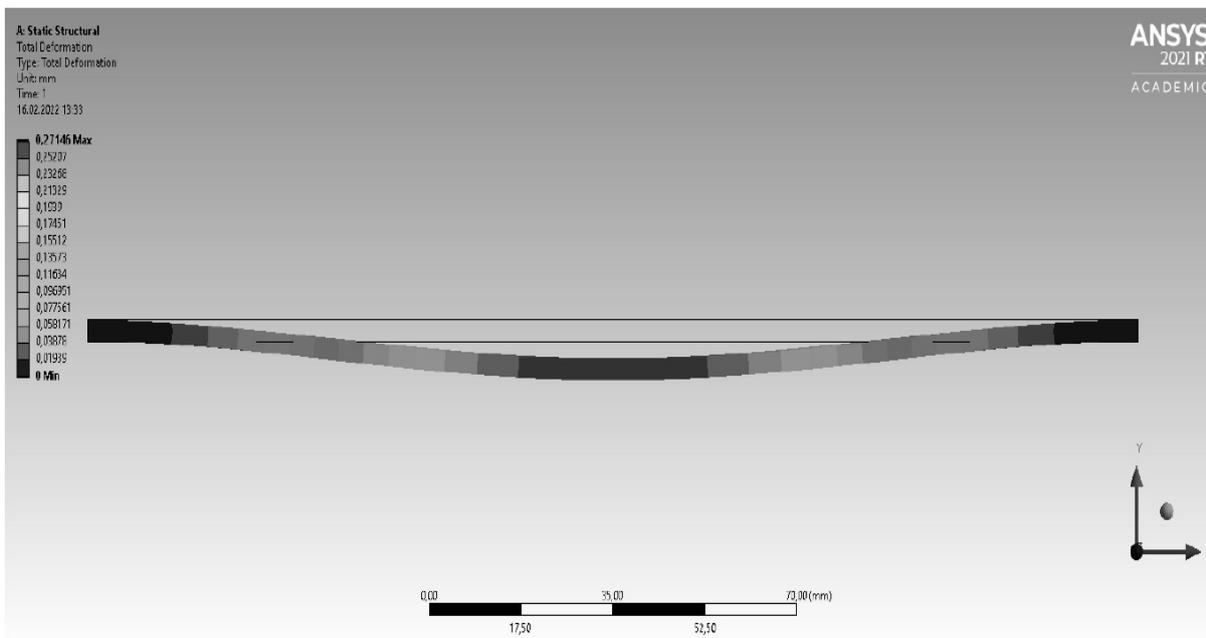


Рисунок 4. Полная деформация пластины вдоль оси Y (коэффициент масштаба деформации равен 21)

Источник: разработано автором

### Литература

1. Бадягин А. А., Овруцкий Е. А. Проектирование пассажирских самолетов с учетом экономики эксплуатации. М.: Машиностроение, 1964. – 296 с.
2. Быкова И. С., Припадчев А. Д., Псянчина Ф. И. Перспективы применения систем автоматизированного проектирования в авиастроении // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург. – 2015. С. 21–24.
3. ЗАО «Топ-Системы». САПР T-FLEX CAD // TFLEXCAD.RU: официальный сайт разработчика ПО. 2022. URL: <https://www.tflexcad.ru/> (дата обращения: 17.06.2022).
4. ООО «АСКОН – Системы проектирования». САПР Компас-3D // ASCON.RU: официальный сайт разработчика ПО. 2022. URL: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/> (дата обращения: 17.06.2022).
5. Петров Д. В., Лапов А. Н. Перспективы развития автоматизированного проектирования в машиностроении // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. – Оренбург. – 2018. – С. 791–794.
6. Сарымсаков Х. Г., Султанов Н. З. Системы автоматизированного проектирования самолета. М., – 1985. – 50 с.
7. Ansys inc. Комплекс для инженерного анализа ANSYS // ANSYS.COM: официальный сайт разработчика ПО. 2022. URL: <https://ansys.com/> (дата обращения: 17.06.2022).
8. Ansys inc. Комплекс для инженерного анализа ANSYS Student // ANSYS.COM: официальный сайт разработчика ПО. 2022. URL: <https://www.ansys.com/en-in/academic/students/ansys-student> (дата обращения: 17.06.2022).
9. Autodesk. САПР AutoCad // AUTODESK.COM: официальный сайт разработчика ПО. 2022. URL: <https://www.autodesk.com/products/autocad> (дата обращения: 17.06.2022).
10. Dassault Systemes. САПР SolidWorks // SOLIDWORKS.COM: официальный сайт разработчика ПО. 2022. URL: <https://solidworks.com/> (дата обращения: 17.06.2022).

Статья поступила в редакцию: 22.06.2022; принята в печать: 25.10.2022.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.