

ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ШКОЛЬНЫЙ КУРС ФИЗИКИ: ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И АЭРОДИНАМИЧЕСКОМУ ИСПЫТАНИЮ ПРОФИЛЯ КРЫЛА

Малинин Данила Дмитриевич,
учащийся 11 класса А

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение лицей № 373

Медведева Людмила Анатольевна,
учитель информатики, методист

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение лицей № 373

В статье рассматривается проблема преодоления разрыва между теоретическим школьным курсом физики и прикладными задачами инженерного конструирования. На примере ученического проекта «Изготовление крыла самолёта на основе его аэродинамических показателей» анализируется опыт внедрения принципов STEM-образования в старших классах. Представлена методология организации проектно-исследовательской деятельности, включающая цикл от изучения основ аэродинамики и программного моделирования (CAD/CAE) до 3D-печати и проведения стендовых испытаний. Показано, что поиск оптимальной силовой конструкции крыла способствует формированию метапредметных компетенций и усвоению законов механики. Практическая значимость работы подтверждена созданием прототипа, выдержавшего статическую нагрузку в 560 Н, и экспериментальным определением оптимального угла атаки (6 градусов). Результаты демонстрируют потенциал школьных проектов для профориентации в сфере авиастроения.

Ключевые слова: проектная деятельность, аэродинамика, инженерное мышление, метод конечных элементов, САПР, прочностные испытания, STEM-образование, школьная физика, аддитивные технологии.

Проблематика инженерного образования

Современная образовательная парадигма, регламентируемая Федеральными государственными образовательными стандартами (ФГОС), определяет необходимость перехода от репродуктивного усвоения физических законов к их практическому применению. Физика является фундаментальной дисциплиной для подготовки инженерных кадров, потребность в которых на сегодняшний день является высокой для отечественной экономики. Однако школьные лабораторные практикумы преимущественно носят алгоритмический характер: выполнение работы по заданному алгоритму ограничивает возможности для самостоятельного конструкторского поиска и проверки гипотез.

Подготовка специалистов инженерного профиля приобретает особую актуальность в контексте макроэкономических изменений. В условиях действия санкционных ограничений, оказавших влияние на сектор гражданской авиации (по оценкам экспертов, значительная часть воздушных судов в РФ находится в лизинге), возникает объективная необходимость в развитии отечественного авиастроения [1]. Устранение технологических дефицитов и разработка новых летательных аппаратов требуют системной подготовки профильных специалистов, начиная со школьной ступени образования.

Целью данного исследования стала разработка и внедрение в образовательный процесс модели проектной деятельности, позволяющей старшеклассникам решать прикладные инженерные задачи.

Цель ученического проекта – проектирование оптимальной силовой конструкции крыла с учетом характеристик прочности при изгибе.

Для достижения цели были определены следующие задачи: расчет оптимальной геометрии внутреннего заполнения и угла атаки для достижения максимальной подъемной силы и верификация результатов программных расчетов посредством натурных испытаний.

Интеграция аэродинамики и механики в учебный процесс

Педагогический дизайн проекта базировался на принципах конструктивистского подхода. В рамках теоретического этапа учащийся изучал

силы, действующие на летательный аппарат в полете. Особое внимание уделялось крылу как основному агрегату, генерирующему подъемную силу. Была изучена структура силовой конструкции (функции лонжеронов, стрингеров, нервюр, обшивки), а также проанализировано влияние различных профилей крыла на аэродинамические и прочностные показатели.

Формулировка рабочей гипотезы опиралась на специфику применения аддитивных технологий (3D-печати по технологии FFF), при которых возникает проблема анизотропии материалов – снижение прочности на разрыв между слоями наплавленного пластика. Была выдвинута следующая гипотеза: сплошное заполнение внутреннего объема крыла материалом не является необходимым и достаточным условием для обеспечения высокой прочности; оптимальная силовая конструкция достигается за счет рациональной геометрии внутреннего набора при частичном заполнении. Дополнительная гипотеза предполагала экспериментальное подтверждение нелинейной зависимости подъемной силы от угла атаки.

Материалы и методы: Программное моделирование и производство

Для обеспечения соответствия проекта стандартам инженерной практики применялось специализированное программное обеспечение. Программное обеспечение и производственная база:

Моделирование геометрии осуществлялось в системе автоматизированного проектирования Компас-3D. Оценка прочностных и аэродинамических характеристик цифровой модели проводилась в CAE-системе Ansys 2023. Производство прототипов (длина хорды/размаха – 20 см) выполнялось методом FFF-печати с использованием полилактида (PLA), армированного 30 % натурального волокна.

Метод конечных элементов (МКЭ):

В связи с ограниченностью школьного математического аппарата для аналитического расчета сложных конструкций, был применен метод конечных элементов [3]. Изучение данного метода способствовало межпредметной интеграции: учащийся освоил принципы численного решения

дифференциальных уравнений путем дискретизации (разбиения модели крыла на сеточную модель) для расчета напряжений и деформаций в локальных узлах. Для количественной оценки эффективности разработанных конструкций был введен расчетный коэффициент прочности (K) [4]:

$$k = \frac{m \times 10^3}{M},$$

где M – масса удерживаемого груза (кг), m – масса модели крыла (кг).

Данный критерий позволил объективизировать процесс отбора оптимальной структуры.

практическая реализация: Итеративное конструирование

Процесс поиска оптимальной геометрии имел итеративный характер. На начальном этапе были смоделированы и проанализированы два базовых варианта: крыло со сплошным заполнением и пустотелое крыло.

Программный анализ в среде Ansys выявил низкую эффективность обоих вариантов. Крыло со сплошным заполнением выдерживало высокую статическую нагрузку, однако обладало избыточной массой. Анализ эквивалентных напряжений (von-Mises Stress) показал неравномерность распределения нагрузки: значительная часть внутреннего объема не подвергалась механическому воздействию. Пустотелое крыло демонстрировало высокий коэффициент соотношения, однако предельное значение разрушающей нагрузки оказалось недопустимо малым.

На основе полученных эпюр напряжений учащийся приступил к проектированию промежуточных вариантов. Процесс включал моделирование лонжеронов с заданным шагом и последующим удалением материала (формированием отверстий облегчения) в зонах с минимальной концентрацией напряжений. Всего было разработано четыре промежуточных варианта.

Анализ показал последовательную оптимизацию коэффициента прочности. Для первого промежуточного варианта коэффициент составил 7,83, для третьего – 3,8. Третий вариант был принят за основу для финального моделирования. Итоговая модель крыла имела сложную сотовую структуру. Программный расчет показал, что критическая нагрузка составляет 45,7 кг при

собственной массе детали 0,16 кг (160 г). Расчетный коэффициент К составил

езультаты натурных испытаний

Верификация цифровых моделей производилась посредством стендовых испытаний в условиях студенческой лаборатории.

Прочностные испытания на изгиб (Рис. 1)

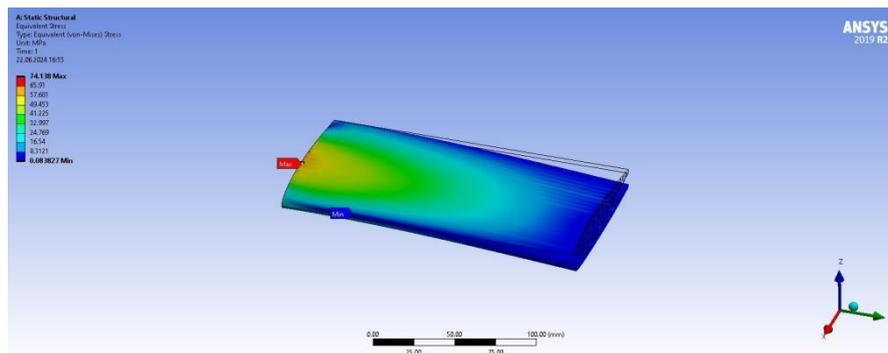


Рис 2.1. Проверка прочности на изгиб итогового крыла

Изготовленные прототипы жестко фиксировались консольно (параллельно основанию). К свободному концу прикладывалась ступенчато возрастающая статическая нагрузка (калиброванные грузы).

Результаты испытаний:

ромежуточный вариант крыла разрушился при нагрузке 12,2 кг, что коррелирует с результатами предварительного программного расчета. птимизированный (итоговый) вариант продемонстрировал высокую конструктивную жесткость. Приложение нагрузки массой 56 кг (эквивалентно 560 Н) не привело к разрушению конструкции. Увеличение нагрузки было остановлено ввиду ограничений испытательного стенда. Полученные данные полностью подтвердили гипотезу о том, что рационально спроектированная силовая структура превосходит по эффективности конструкцию со сплошным заполнением.

2. Аэродинамические испытания

Для исследования аэродинамических характеристик спроектированного профиля (двоковыпуклого несимметричного) применялась малогабаритная аэродинамическая труба с возможностью регулировки угла атаки. Измерения подъемной силы проводились циклами по 60 секунд. Экспериментально установлено, что максимальное значение подъемной силы (среднее значение – 16,034 Н) достигается при угле атаки 6°. Данный результат подтвердил гипотезу о наличии оптимального угла атаки для конкретного аэродинамического профиля.

Обсуждение результатов

Анализ результатов проекта позволяет сделать вывод об эффективности интеграции инженерных САПР-решений в образовательный процесс.

Выполнение расчетов и натурных испытаний способствует глубокому пониманию учащимися взаимосвязи между массой, прочностью материалов, геометрией конструкции и законами аэродинамики.

Технологические решения, апробированные в ходе проекта, обладают потенциалом применения в прикладных инженерных задачах:

Индустрия беспилотных летательных аппаратов (БПЛА): Оптимизация внутренней структуры крыла позволяет снизить взлетную массу аппарата, что способствует увеличению полезной нагрузки и продолжительности автономного полета.

Аэрокосмическая отрасль: Продемонстрированные показатели удельной прочности обосновывают целесообразность применения подобных ячеистых и сотовых структур при конструировании элементов ракетной техники.

Турбиностроение: Логика профилирования и внутреннего армирования применима для проектирования лопастей несущих винтов, а также лопаток компрессоров в турбореактивных двигателях.

Выводы

Опыт организации проектной деятельности в ГБОУ Лицей № 373 показывает целесообразность реализации инженерных проектов, интегрирующих знания из курсов физики, математики и информатики.

Апробирована методика сквозного проектирования, включающая теоретическое обоснование, расчет в системах САЕ (с применением метода конечных элементов) и прототипирование методами аддитивного производства.

Экспериментально подтверждено, что оптимизированная силовая конструкция крыла массой 160 г выдерживает статические нагрузки свыше 560 Н без разрушения, что доказывает эффективность отказа от сплошного заполнения материалом.

В ходе аэродинамических испытаний установлен оптимальный угол атаки для исследуемого профиля, обеспечивающий максимальную подъемную силу.

Данный формат работы формирует у учащихся системное инженерное мышление и навыки анализа эмпирических данных. Внедрение подобных практико-ориентированных проектов в систему среднего образования является эффективным инструментом подготовки квалифицированных абитуриентов для технических вузов и наукоемких отраслей промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глазкова И. С. Влияние санкций на гражданскую авиацию России // Влияние глобальных вызовов на компании и индустрии – Екатеринбург: -2022. – 207 с.

[

Михаил Хазин. Комментарий к текущим событиям от 11 января 2025 года. – Москва: 2025.

Каменев С. В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях: учебное пособие / С. В. Каменев; Оренбургский гос. Ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 110 с.

Корнеев В.М. Конструкция и основы эксплуатации летательных аппаратов: конспект лекций / В.М. Корнеев. – Ульяновск: УВАУ ГА(и), -2009. – 130 с.

н

н

ы

й

р

е