

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина»

Кафедра теоретической и прикладной механики

Разработка конструкции и исследование напряженно-деформированного состояния корпуса гидроплана

Выполнил: студент гр. 4-33
Г.В. Долунц

Руководитель: д.ф.-м.н.,
доцент Л.Б. Маслов



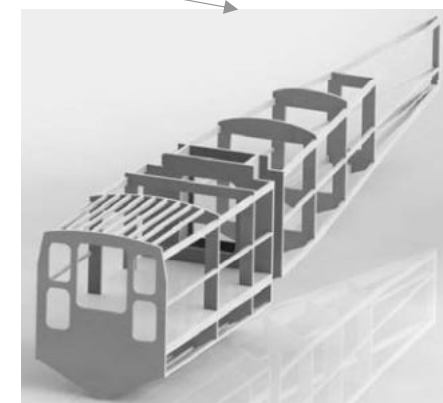
Студенческое
конструкторское
бюро «АЛМАЗ»

Цель: разработка конструкции корпуса беспилотного летательного аппарата пригодную для производства с помощью аддитивных технологий и его изготовление.

Для достижения цели поставлены задачи:

- изучение аддитивных технологий, а также сборка и настройка 3D принтера;
- проведение экспериментальных исследований по определению физико-механических свойств материалов, используемых при изготовлении фюзеляжа;
- разработка компьютерной модели фюзеляжа гидроплана, анализ напряженно-деформированного состояния и проведение топологической оптимизации.

Субтрактивная (традиционная) технология



- Высокая себестоимость
- Требуется высококвалифицированных рабочих
- Длительность изготовления
- Устаревшие технологии и материалы
- Остается много мусора

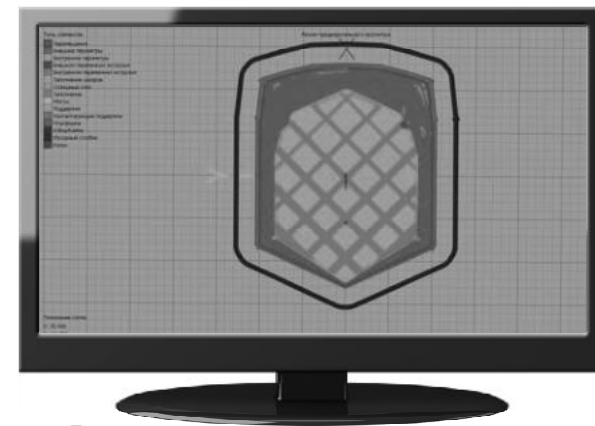
Цикл производства изделий с помощью аддитивных технологий



1 Подготовка CAD-модели



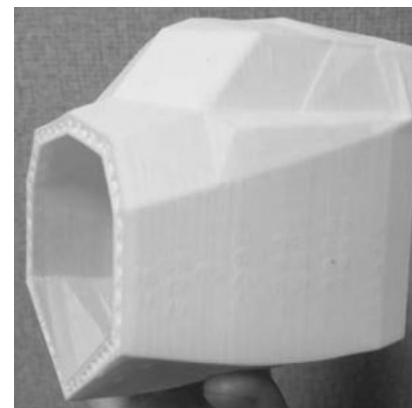
2 Создание STL-файла



3 Разделение на слои



4 3D печать

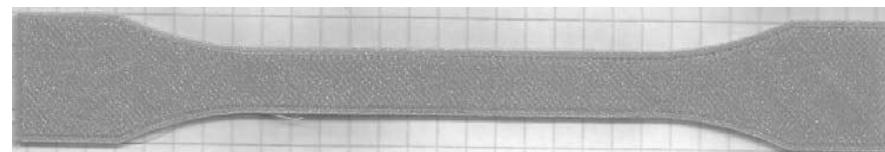


5 Готовое изделие



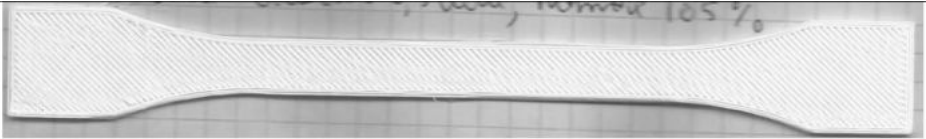
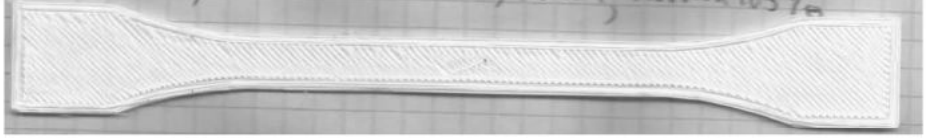
Настройка основных параметров 3D принтера

Поток 100%, перекрытие 10%	
Поток 105%, перекрытие 10%	
Поток 110%, перекрытие 10%	



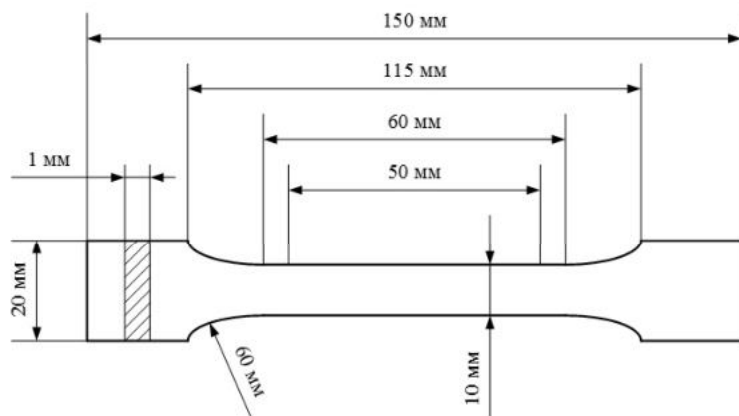
Образец с высоким качеством печати

Вывод: за счет изменения значения потока и использования специализированного ПО Simplify3D для подготовки модели к 3D печати удалось значительно повысить качество изделий без потери времени.

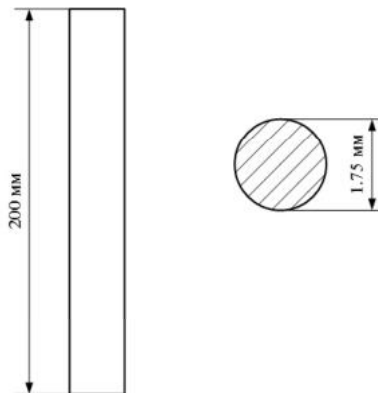
Поток 105%, толщина слоя 0.40	
Поток 105%, толщина слоя 0.42	
Поток 105%, толщина слоя 0.45	



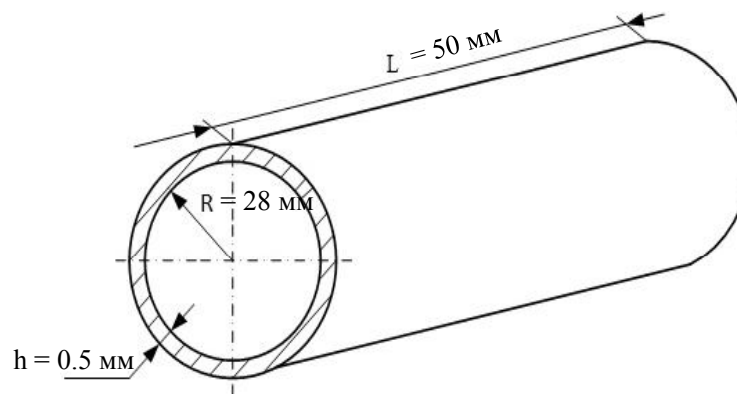
Экспериментальные методы исследования



Геометрические характеристики образцов



Геометрические характеристики
нити пластика



Геометрические размеры образца
для визуального обследования



Универсальная
испытательная
разрывная машина
UTC-101-10

Используемые ГОСТы:

ГОСТ 11262-80

ГОСТ 28840-90

ГОСТ 8.113-85

Штангенциркули

ГОСТ 9550-81

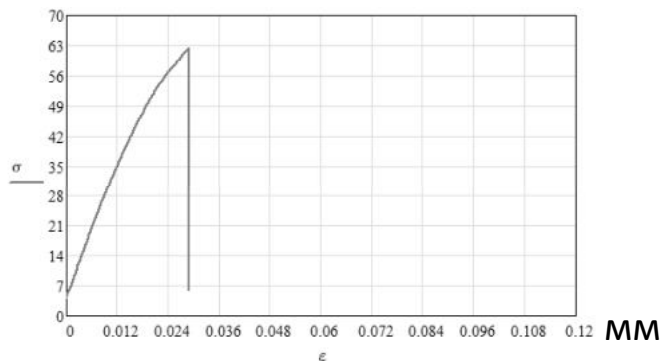
Пластмассы. Методы
определения модуля
упругости при
растяжении, сжатии и
изгибе (п.1).

Испытания для выявления физико-механических свойств материалов

Проведение испытаний на растяжение пластиковых нитей

Aerotex

МПа

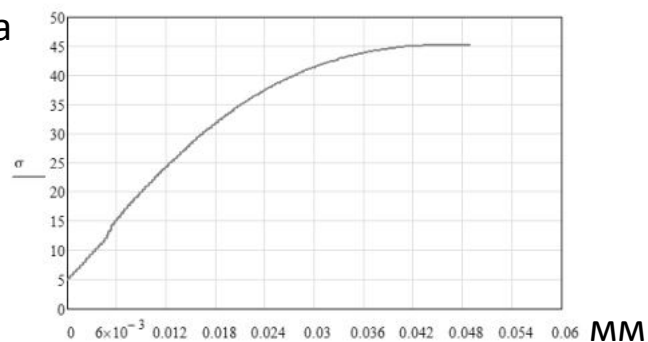


$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{max}}}{A}$$

Физические характеристики	Aerotex	PLA	Total GF-30
Максимальное усилие F_{max} , Н	149,9	108	113
Предел прочности σ , МПа	62	45	47,08

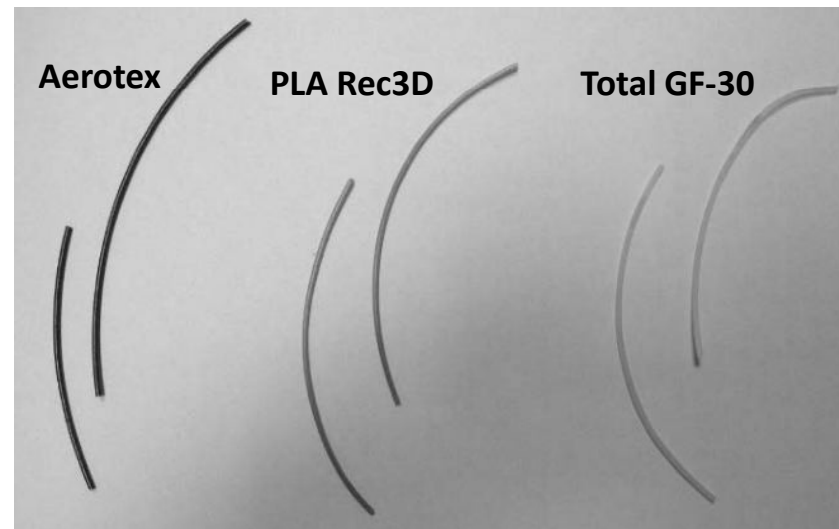
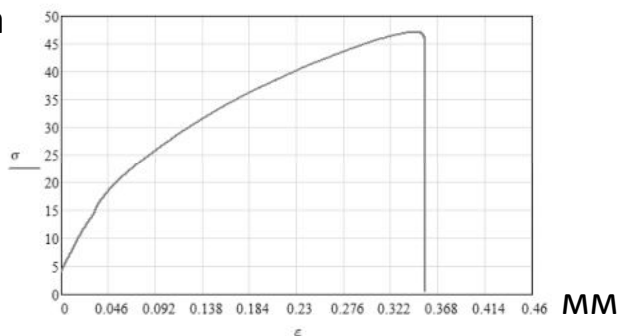
PLA

МПа



Total GF-30

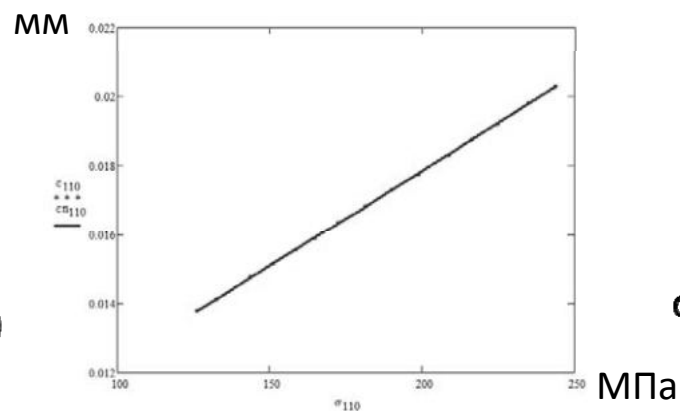
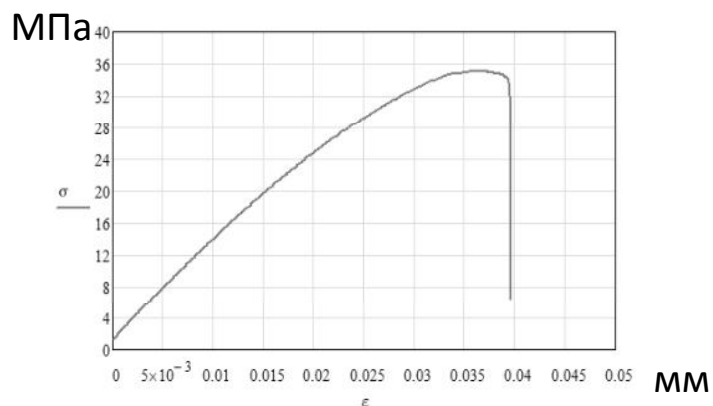
МПа



Испытания для выявления физико-механических свойств материалов

Проведение испытаний на растяжение для оболочки и визуальное обследование

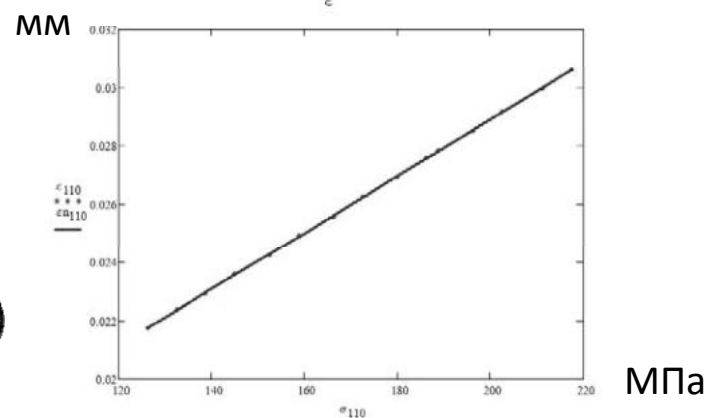
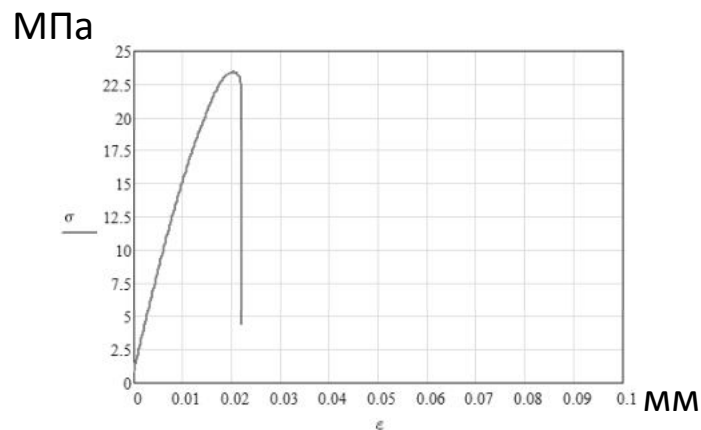
Продольное расположение волокон



$\sigma_{пр} = 35$ (МПа)

$\sigma_{пр} = 25$ (МПа)

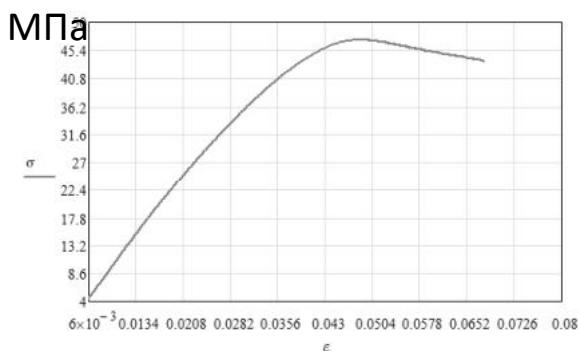
Поперечное расположение волокон



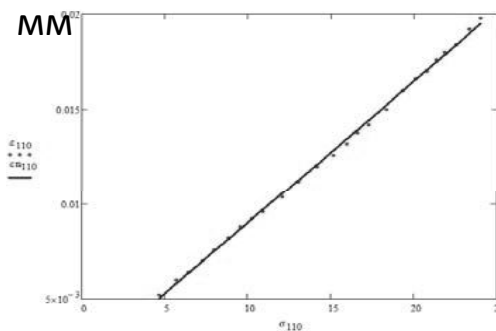
Визуальное обследование

Испытания для выявления физико-механических свойств материалов

Проведение испытаний на растяжение массивных конструкций



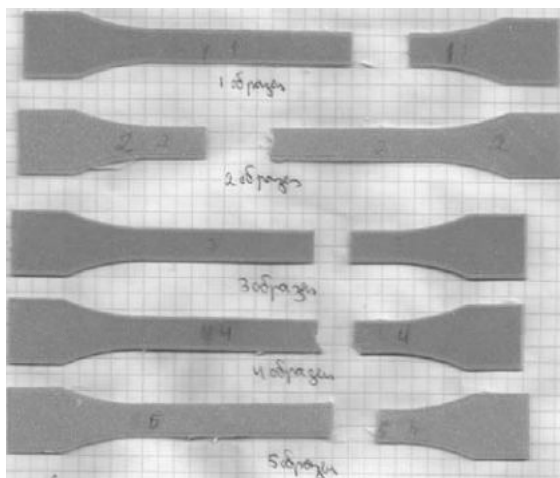
мм



МПа

$$E_p = \frac{(F_2 - F_1) \cdot l_0}{A_0 \cdot (\Delta l_2 - \Delta l_1)} \quad - \text{Модуль Юнга}$$

$$\mu = \frac{\epsilon_{\text{поперечное}}}{\epsilon_{\text{продольное}}} \quad - \text{Коэффициент Пуассона}$$

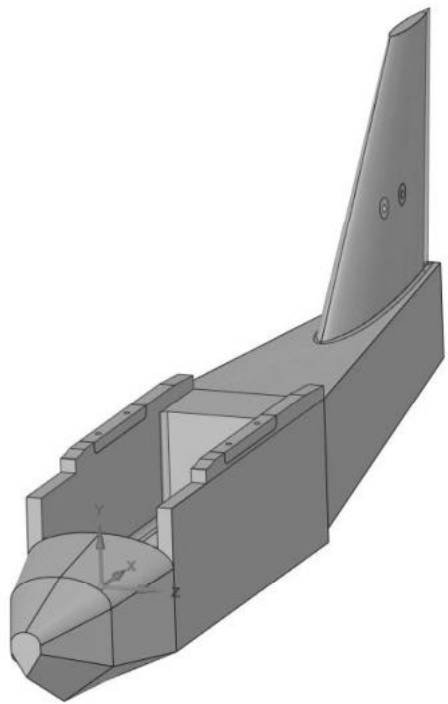


	Нить Aerotex	Нить PLA Rec3D	Нить Total GF-30	Оболочка продольная из PLA	Оболочка поперечная из PLA	Массивная конструкция из PLA
Предел прочности (МПа)	62,1	45	47,1	35	25	45,2
Удлинение (мм)	0.026	0.05	0.37	0.04	0.022	0.067
Модуль Юнга (МПа)	1380	1332	300	1465	1012	1380
Коэффициент Пуассона	-	0.39	-	0.39	0.39	0.39

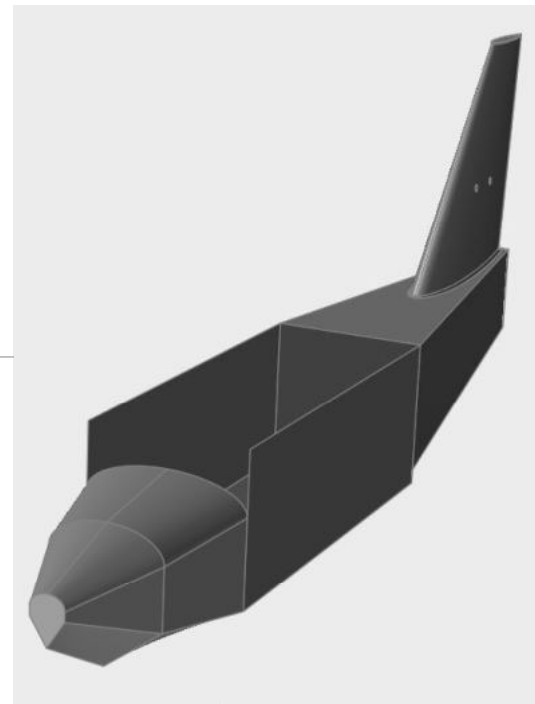
Вывод: получены физико-механические свойства материалов. Для дальнейшей работы был выбран пластик PLA от Rec3D с текущими свойствами: $\sigma_{\text{пр}}=45$ МПа, $E=1.35$ ГПа, $\mu=0.39$.

Разработка корпуса летающей лодки

Массивная конструкция

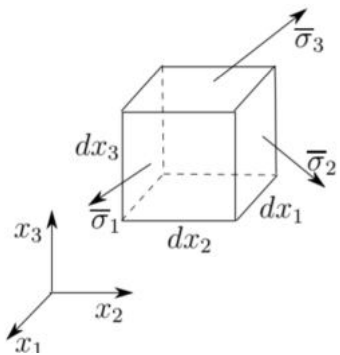


Оболочка



Математическая постановка и математические методы исследования

Теория упругости



Статические уравнения
равновесия

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X\rho = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2};$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y\rho = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2};$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z\rho = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}.$$

Геометрические уравнения

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x};$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y};$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}; \quad \gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}.$$

Физические уравнения

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]; \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G};$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)]; \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G};$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)]; \quad \gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G}.$$

Метод конечных элементов

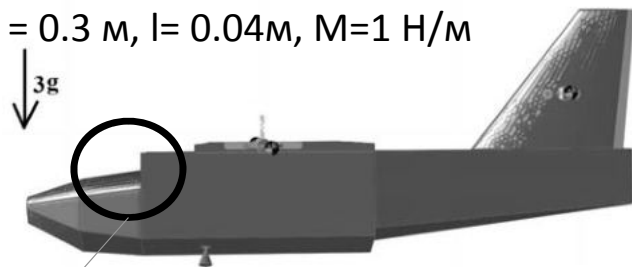
$KU = Fv + Fs$ - Система МКЭ относительного глобального вектора узловых перемещений



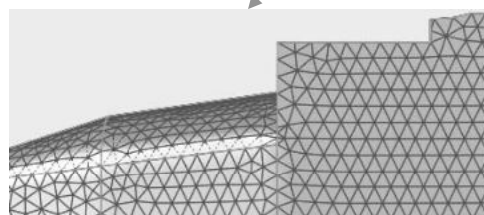
Анализ напряженно-деформированного состояния корпуса гидроплана

Граничные условия: шарнирно подвижная опора в точках А, В, С и Д.

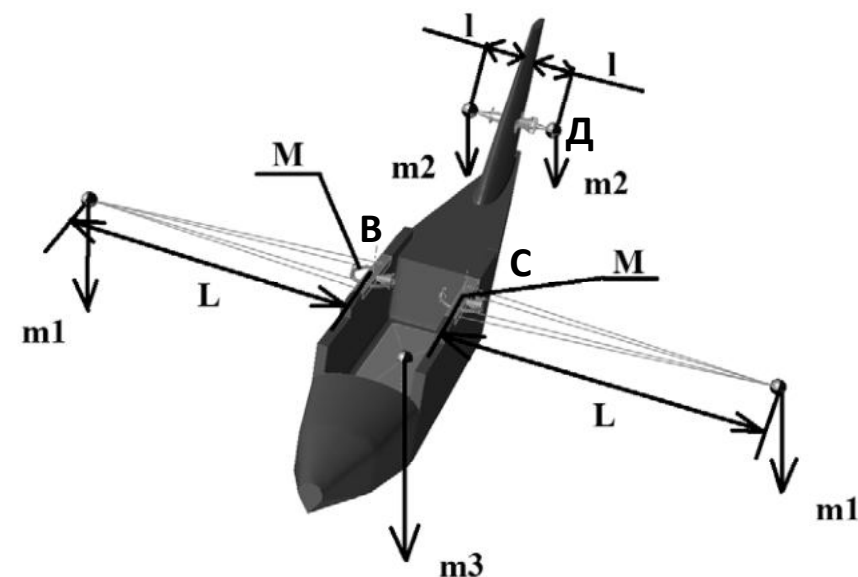
Кинематические условия: перегрузка $3g$, $m_1 = 0.2$ кг (масса крыла), $m_2 = 0.05$ кг (масса стабилизатора), $m_3 = 1$ кг (масса полезной нагрузки), $L = 0.3$ м, $l = 0.04$ м, $M = 1$ Н/м



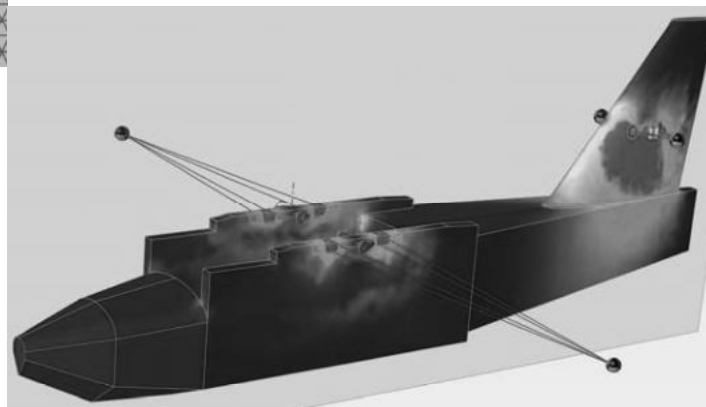
А



Участок КЭ сетки



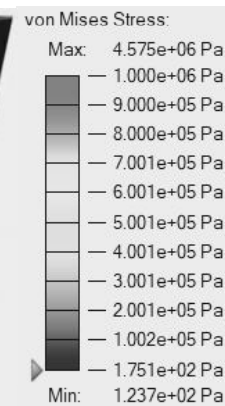
Эквивалентные напряжения по Мизесу



Массивная конструкция

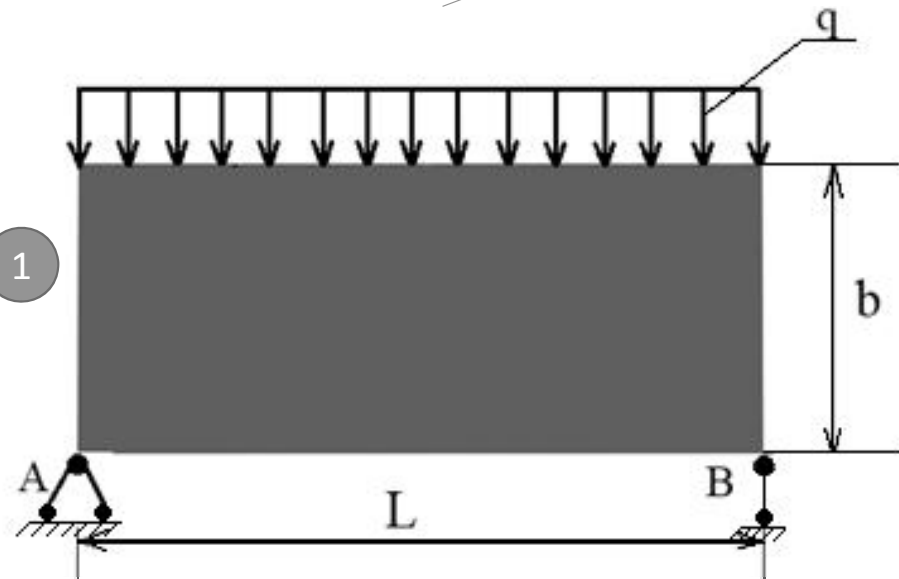


Оболочка



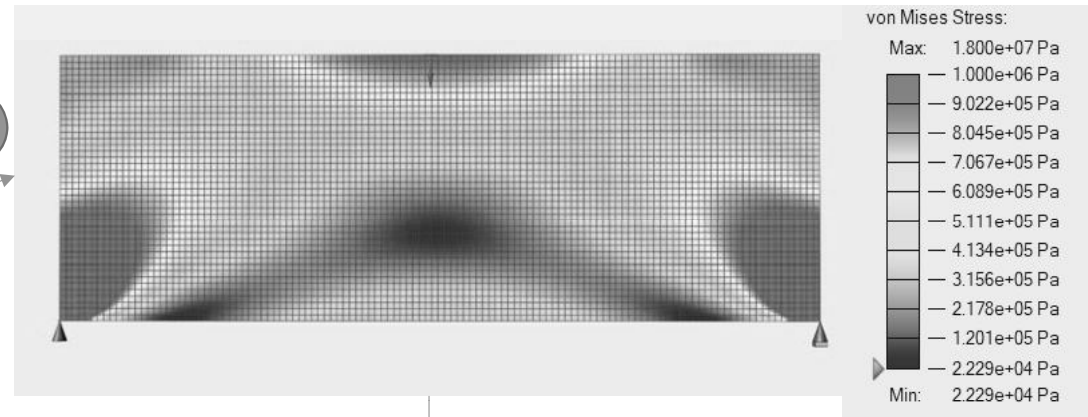
Тестирование алгоритмов топологической оптимизации

Геометрические параметры:
 $L=0.2$ м, $b=0.07$ м, толщина
 0.02 м, $q = 100$ Н/м.
Граничные условия:
шарнирно-неподвижная
опора в точке А и
шарнирно-подвижная
опора в точке В.



До топологической оптимизации

2



3



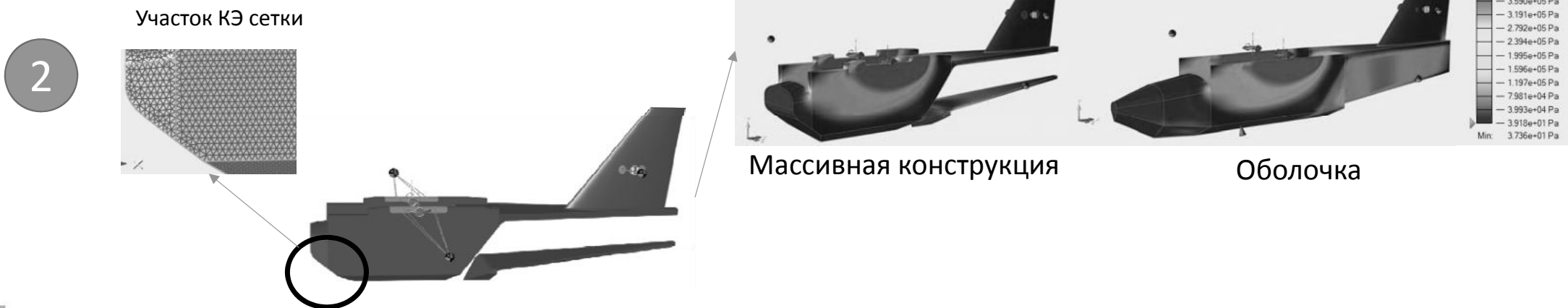
После топологической оптимизации

Топологическая оптимизация фюзеляжа

Первая итерация топологической оптимизации

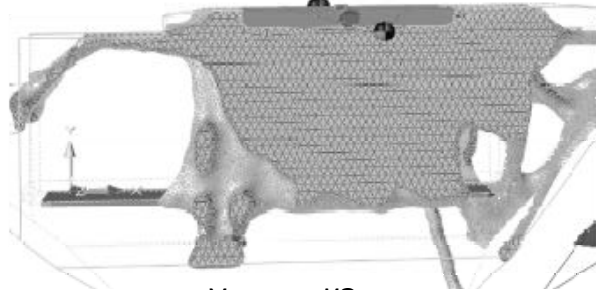
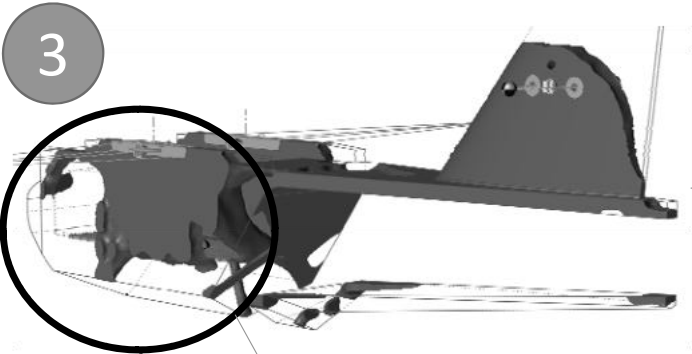


Изменение области для дальнейшей оптимизации

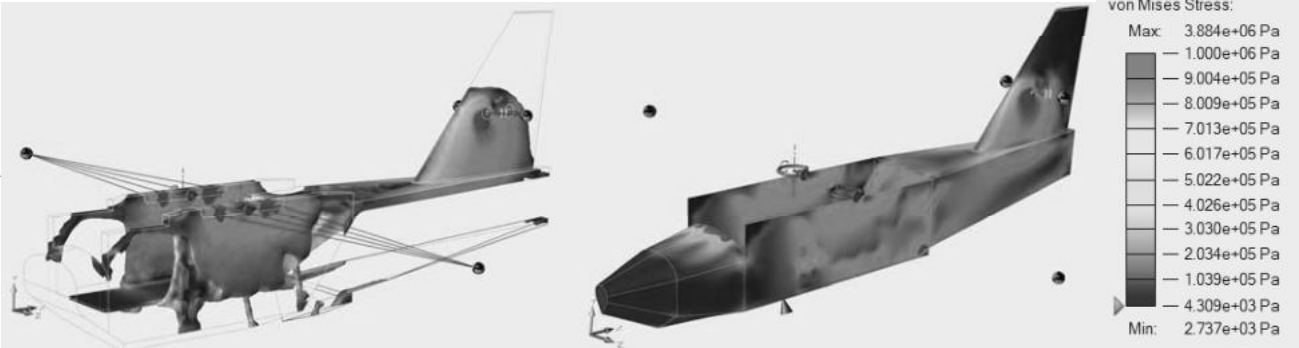


Топологическая оптимизация фюзеляжа

Вторая итерация топологической оптимизации



Участок КЭ сетки



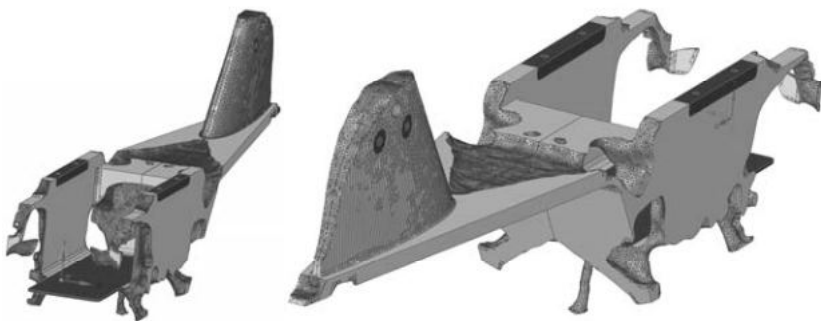
Массивная конструкция

Оболочка

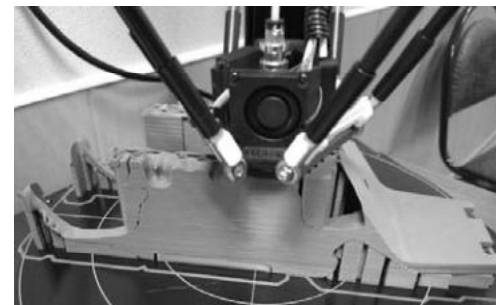
	Исходный корпус	1-ая итерация	Обновленный корпус	2-ая итерация
Максимальные напряжения по Мизесу (МПа)	4.6	2	7.4	3.9
Минимальные напряжения по Мизесу (Па)	124	650	37	2737



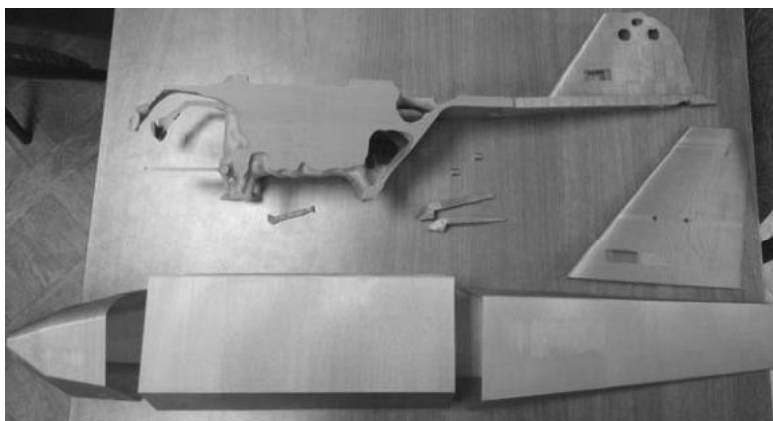
Постобработка и печать корпуса гидроплана



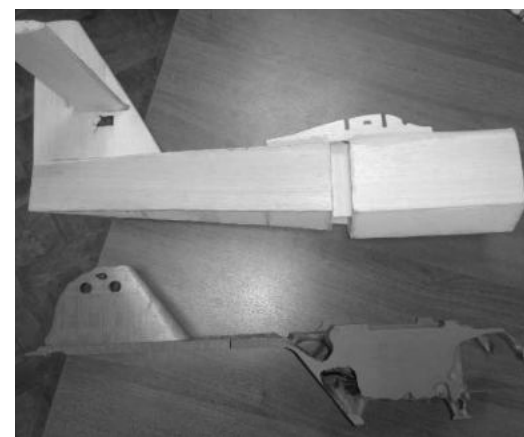
Обработанная 3D модель массивной конструкции



Процесс печати



итоговый корпус



сравнение с деревянным корпусом

Вывод: конструкция имеет запас прочности более, чем 10 раз. Для авиационной техники – это является огромным запасом и с помощью топологической оптимизации удалось снизить вес на 70% без потери прочностных характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные тенденции в высокотехнологичном машиностроении заключается в освоении и использовании абсолютно новых типов технологий производства изделий. Большинство компаний, начиная от мелкосерийного производства беспилотных летательных аппаратов, заканчивая авиакосмическими гигантами активно внедряют внедрять аддитивные технологии в свои предприятия.

В результате проделанной работы был проведен литературный обзор, запущен и настроен 3D принтер для дальнейшего изготовления образцов из пластика.

Выявлены физико-механические свойства материалов для массивной конструкции и оболочки корпуса гидроплана, а также самого материала перед печатью (нить). Таким образом, в ходе испытаний на растяжения были получены пределы прочности, модули Юнга, Коэффициент Пуассона. Для оболочек свойства были изучены по продольным и поперечным волокнам.

Разработаны компьютерные модели беспилотного летательного аппарата в программном комплексе SolidWorks. Выполнен расчет напряженно-деформированного состояния корпуса гидроплана. Благодаря этому удалось выявить, что конструкция имеет высокий запас прочности. С помощью передовой технологии топологической оптимизации удалось снизить вес фюзеляжа на 70%. Используя аддитивные технологии, был распечатан полностью весь корпус гидроплана.

