

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

Кафедра теоретической и прикладной механики

Прочностная оптимизация конструкции пола багажника автомобиля

Выполнила: магистрант гр.2-33М

Суркова П.В.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., доцент

Маслов Л.Б.

Иваново 2020

1

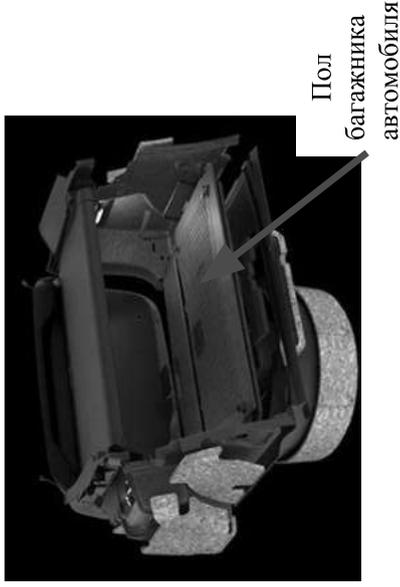
Цель работы:

Получение оптимальных параметров и минимальной массы конструкции пола багажника автомобиля при допустимом значении прогиба при работе в упругой зоне.

Задачи работы:

- Выбор моделей материалов, изготовление образцов и проведение испытаний для композитных материалов обшивок с целью определения механических параметров материалов и их законов распределения;
- Разработка подпрограмм для создания многоциклового численного расчета модели, разработка файлов пост-обработки результатов;
- Интеграция разработанных подпрограмм в программный комплекс оптимизации;
- Оптимизация конструкции, оценка чувствительности параметров модели и оценка вероятности отказа конструкции

Постановка расчетной задачи



Исходная толщина $h=20$ мм

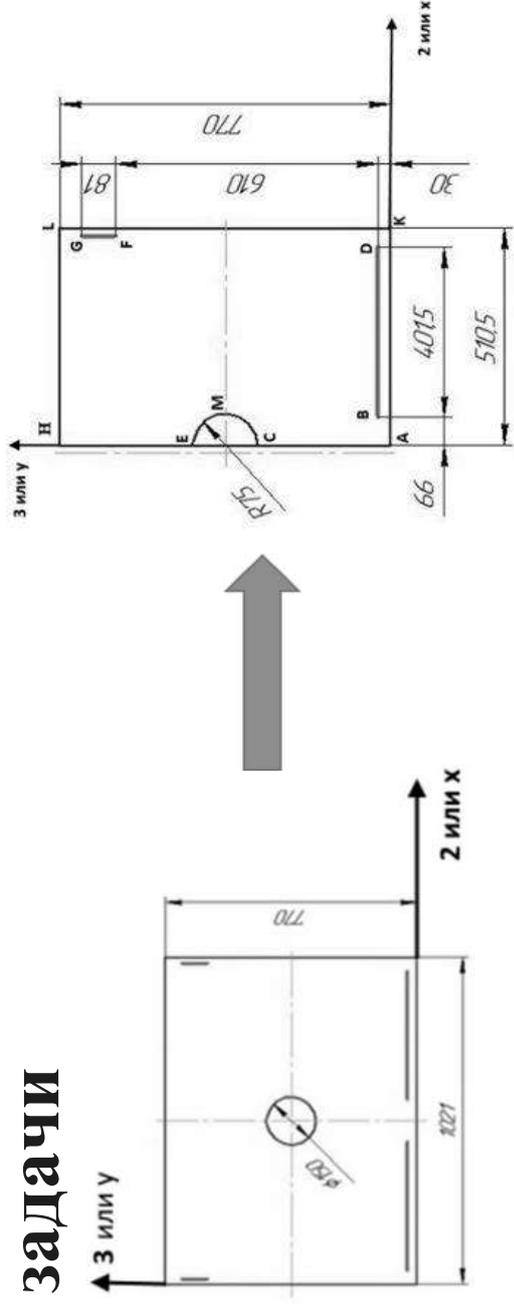


Рис.1 - Чертеж конструкции

Рис.2 – Переход к симметричной постановке задачи

Кинематические граничные условия:

- опора на нижней поверхности конструкции (линии BD и FG): $u_z = 0$;
- условия симметрии на отсеченной плоскости модели (по линии AH): $u_x = 0$;
- поскольку необходимо создать статическое равновесие для конструкции, выбирается любой узел (например точка A) и в нем блокируется оставшаяся степень свободы $u_y = 0$ (рис.3).

Силовые граничные условия:

- сила $F = 1200$ Н, распределена на круглую область ($R = 75$ мм) в середине конструкции на верхней обшивке. Таким образом, при наличии симметрии, величина давления для численного расчета равна

$$P = \frac{F}{\pi R^2} = \frac{1200}{17671.46} = 0.06791 \text{ Н/мм}^2.$$

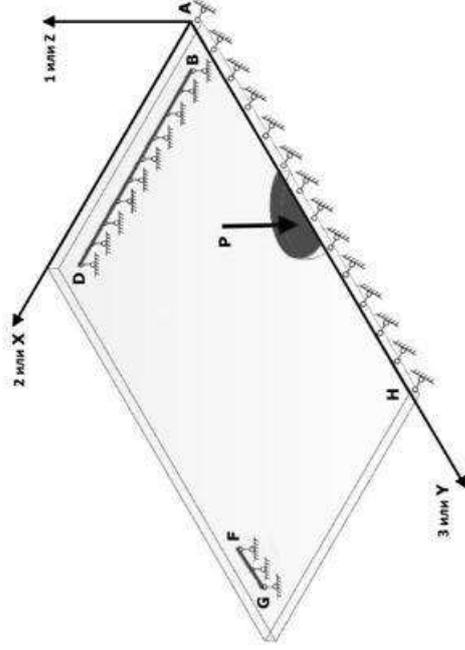
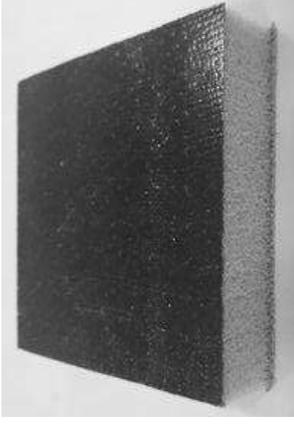
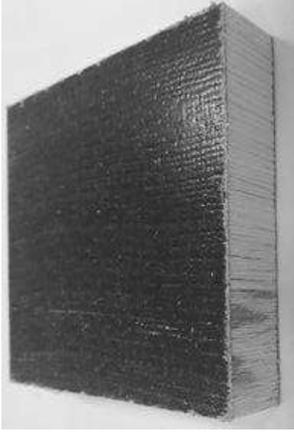


Рис.3 - Расчетная область с граничными условиями

Модели материалов

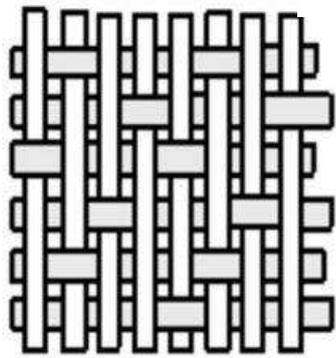


а)

б)

в)

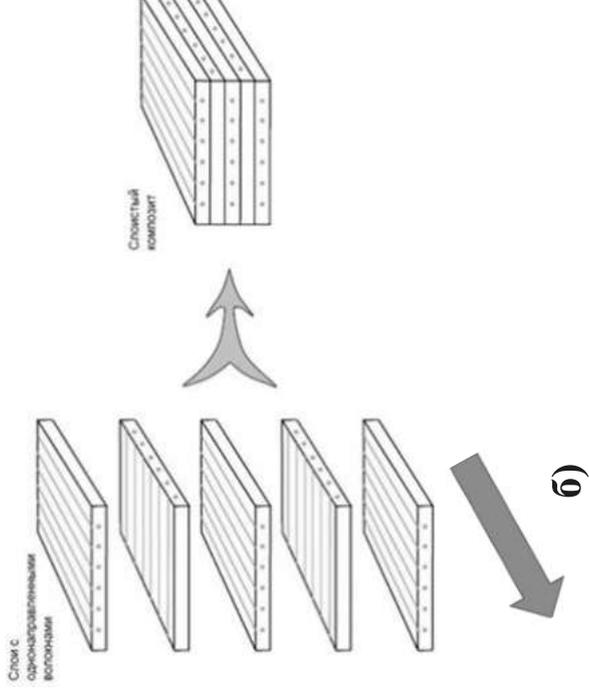
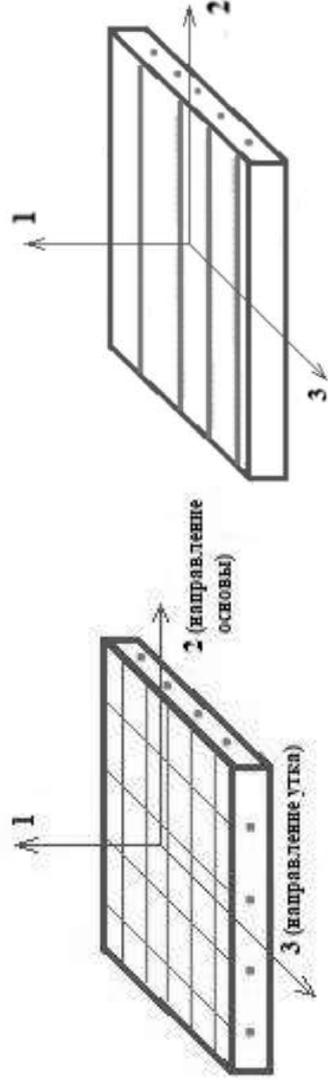
Рис.4 - Виды сэндвич-панелей с наполнителями:
а) сотовый картон, б) бальза, в) ПЭТ панель



а)

Рис.5 - Варианты армирования композитных обшивок и системы координат (СК) армирования:

а) сатин, б) однонаправленные волокна



Производство композитных пластин и получение образцов



Рис.6 - Вид формы, укладка армирования и матрицы в форму

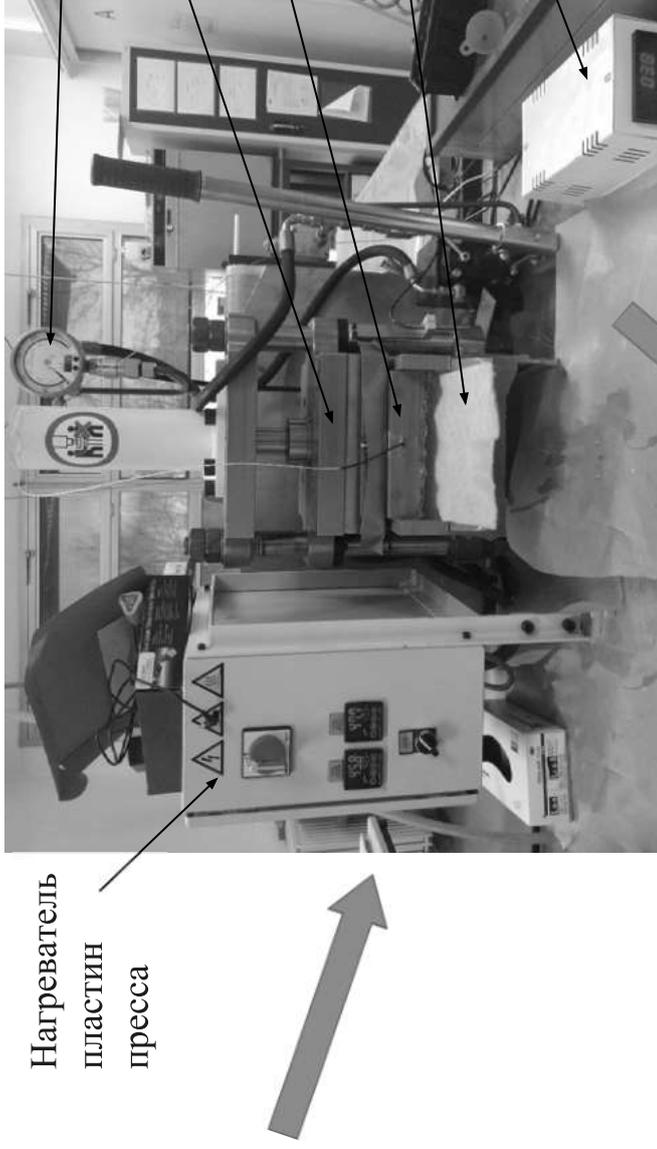


Рис.8 – Изготовленная композитная пластина

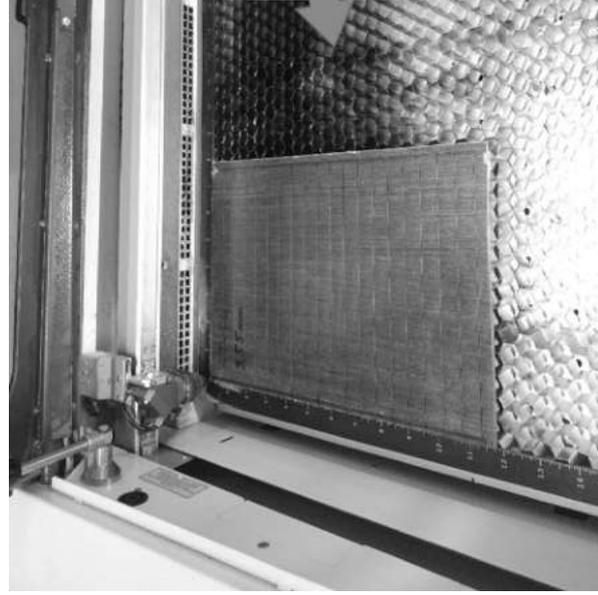


Рис.9 – Нарезка образцов лазером

Рис.7 – Процесс прессования

Испытания на растяжение образцов композитных материалов*

Таблица 1 – Параметры образцов

	Направление армирования	Ширина образца, h	Общая длина, l	Толщина образца, h	Длина рабочей зоны
Рекомендованные параметры		15 мм			
Реальные параметры					
Рекомендованные параметры	тканое армирование	15 мм			
Реальные параметры	тканое армирование				

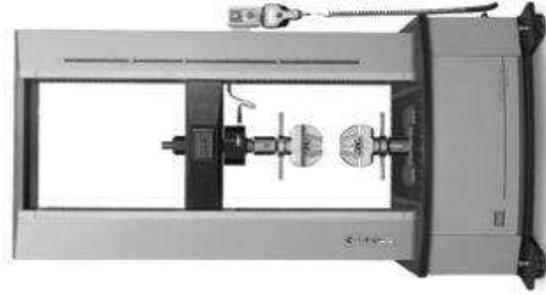


Рис.10 - Испытательная машина MTS C45.105

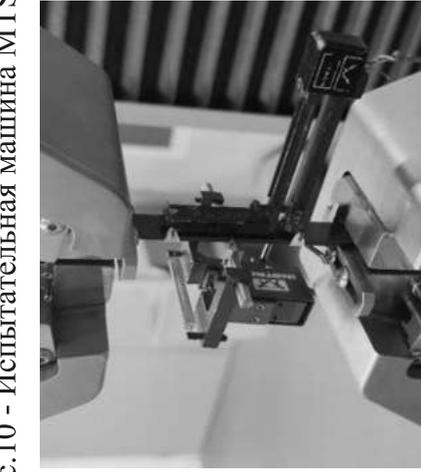


Рис.11 - Продольный и поперечный экстензометры



*ГОСТ Р 56785-2015
Композиты полимерные.
Метод испытания на
растяжение плоских образцов

Рис.12 – Образцы для испытаний (армирование волокнами льна и сатином)

Обработка результатов испытаний*

*Образец, армированный волокнами льна, растяжение вдоль волокон

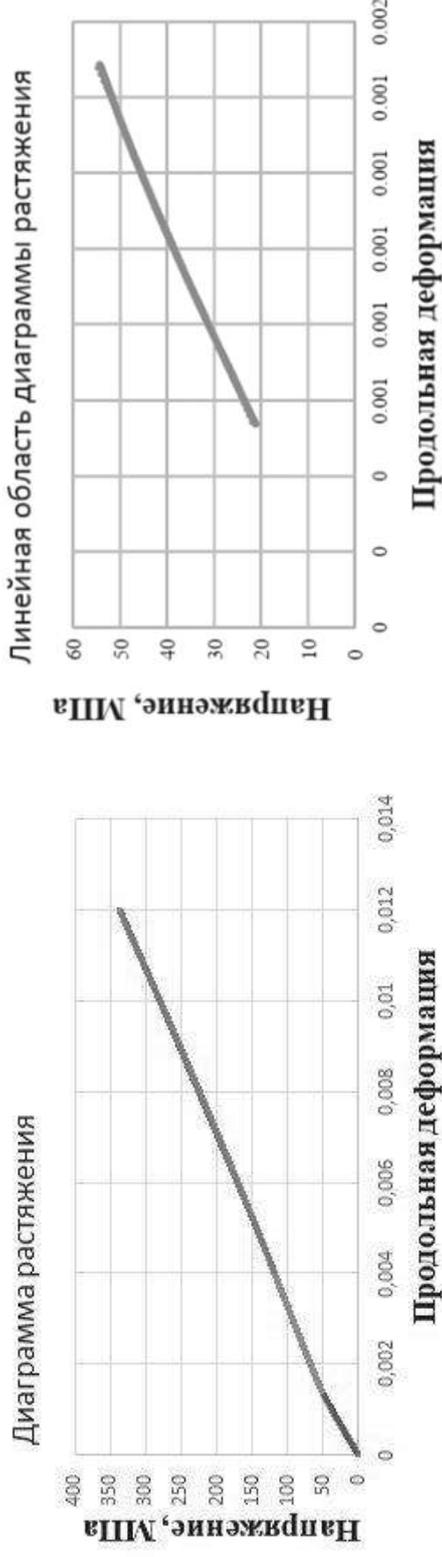
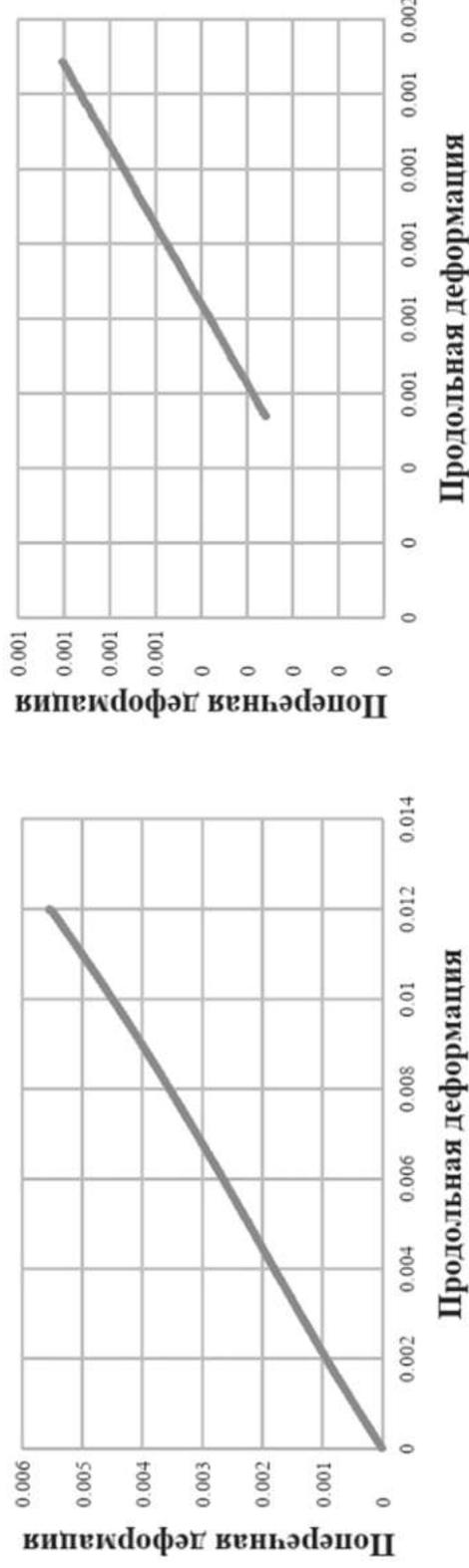


Рис.13 – Диаграмма растяжения образца ($\sigma - \epsilon$)

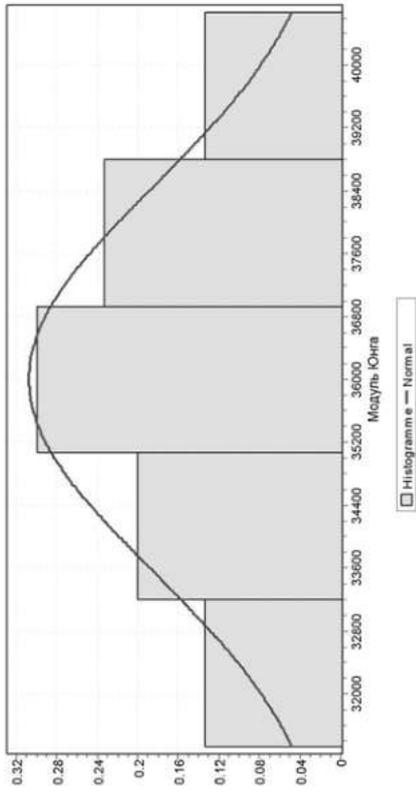
R^2 - достоверность аппроксимации
 Коэффициент перед x – экспериментальное значение модуля Юнга, в соответствии с законом Гука $\sigma = E\epsilon$



R^2 - достоверность аппроксимации
 Коэффициент перед x – экспериментальное значение коэффициента Пуассона, в соответствии с формулой $\epsilon_{\text{попер}} = \nu\epsilon_{\text{прод}}$

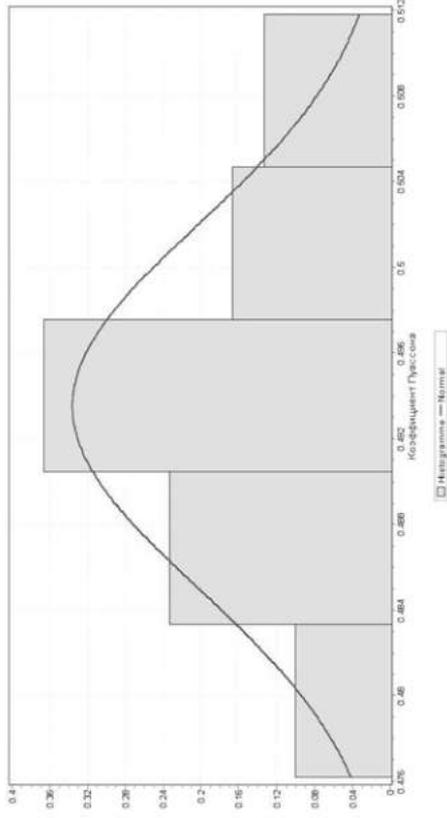
Рис.14 - График зависимости между поперечными и продольными деформациями

Обработка результатов испытаний



Ориент. волокон 90°	E, GPa
Среднее значение	36
СКО	2,4
	0,0085

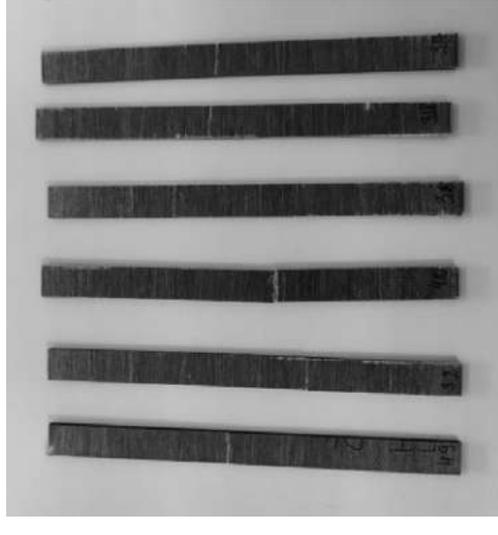
Рис.15 – Получение данных о законе распределения механического параметра: а) модуль Юнга, б) коэффициент Пуассона



Выборка для построения закона распределения – 30 образцов

Рис.16 – Характер разрушения образцов:

- а) растяжение вдоль волокон,
- б) растяжение поперек волокон



Разработка программного кода для численного расчета модели

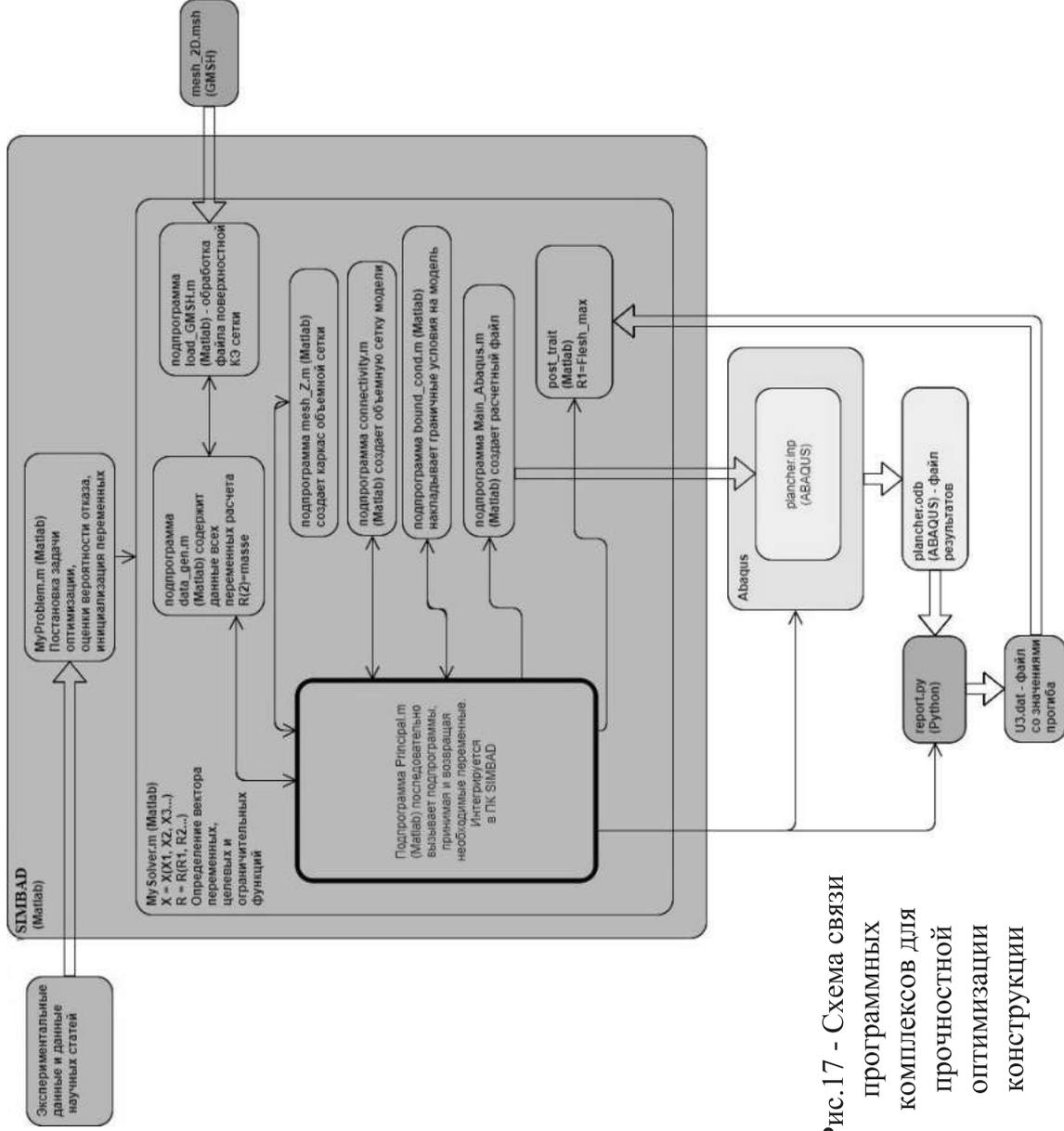


Рис.17 - Схема связи программных комплексов для прочностной оптимизации конструкции

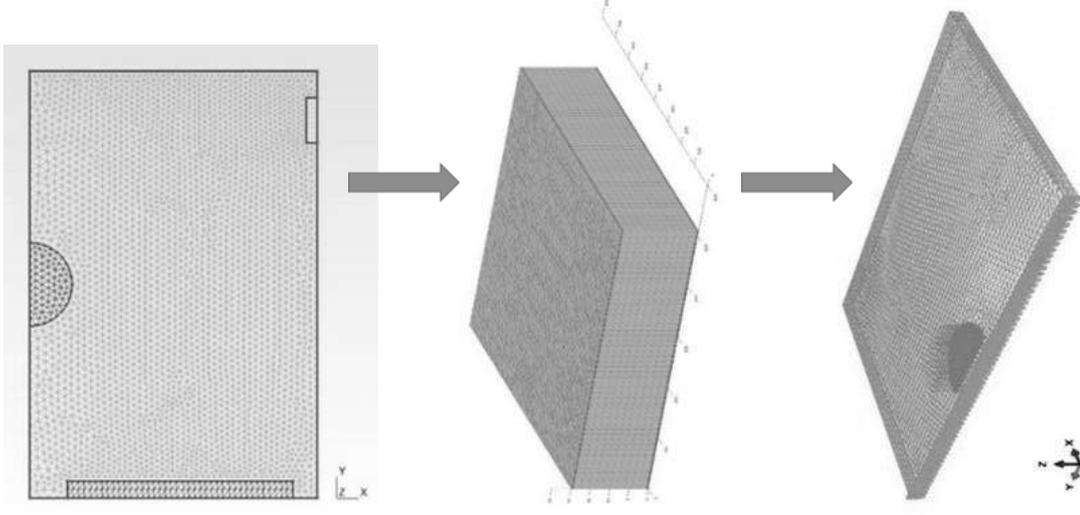


Рис.18 – Этапы создания расчетной модели

Результаты численного расчета модели

Пластаре/Бальза,
5 слоев 0°,90°,0°,90°,0°, h = 20 мм

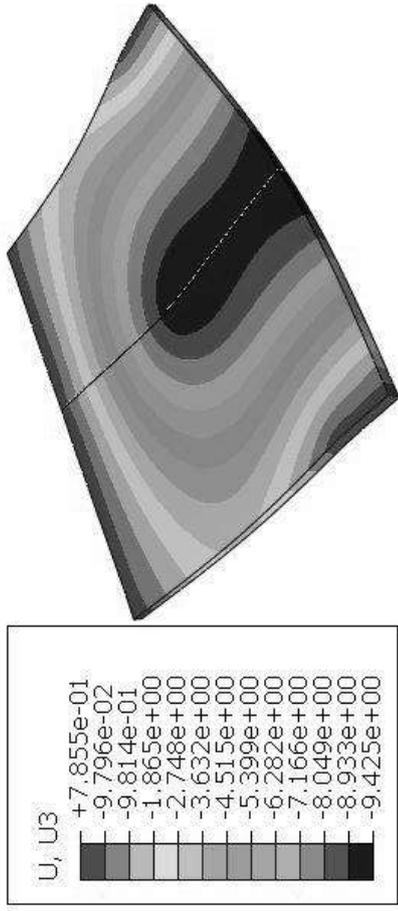


Рис.19 – Характер распределения перемещений в модели по оси z

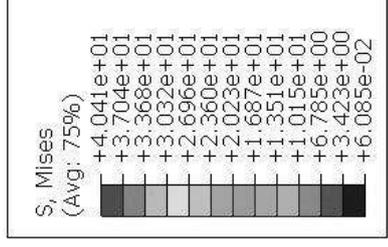


Рис.20 – Характер распределения напряжений в верхней обшивке

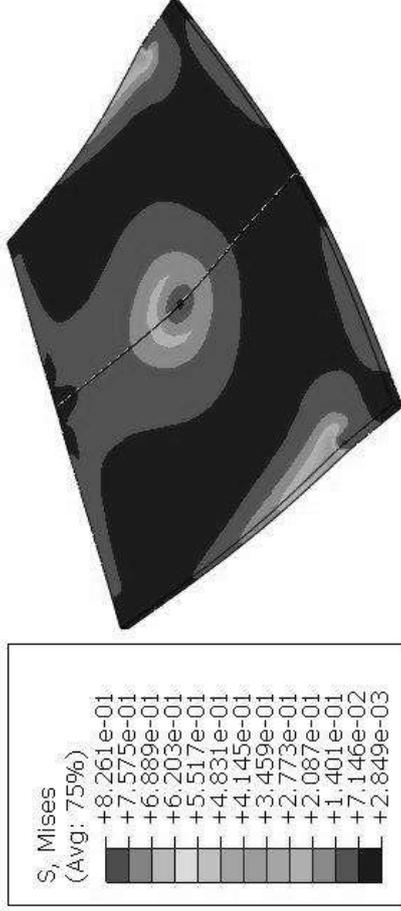


Рис.21 – Характер распределения напряжений в наполнителе

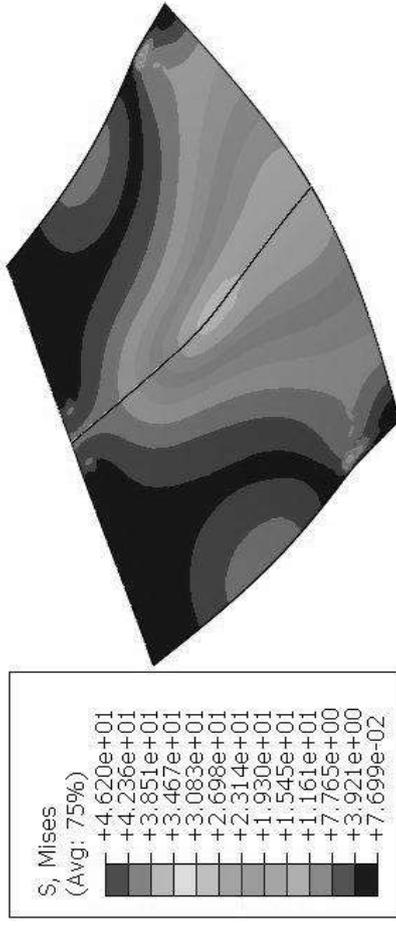


Рис.22 – Характер распределения напряжений в нижней обшивке

Оптимизация конструкции – 1-й этап

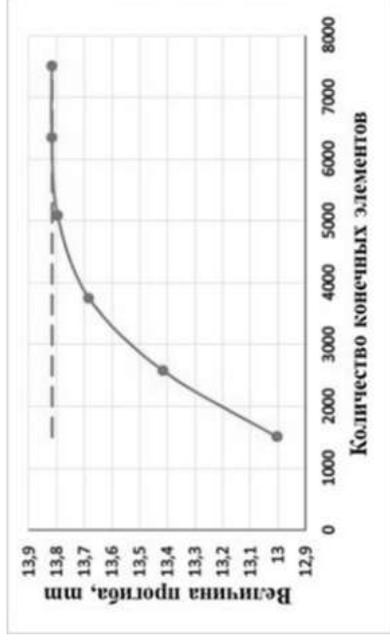


Рис.23 - Результаты исследования КЭ сетки на сходимость

Варьируются:
индикатор количества
слоев
и индикаторы
ориентации волокон в
каждом слое

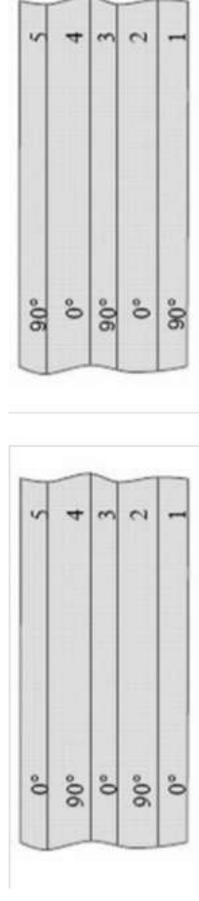


Рис.24 - Варианты однонаправленного льняного армирования, ориентация волокон 0°, 90°

Табл.3 – Результаты первого этапа оптимизации для армирования льном

Флахтаpe/Бальза	Флахтаpe/Сот.картон	Флахтаpe/РЕТ	Толщина слоя = 0.15 мм
Массе, кг	Прогиб, мм	Массе, кг	Начинаем со слоя 0°
25,31	2,284	1,288	2 слоя
13,82	2,569	1,578	3 слоя
13,32	2,854	1,879	4 слоя
9,425	3,14	2,18	5 слоев

Табл.4 – Результаты первого этапа оптимизации для армирования сатином

Сатин/Бальза	Сатин/Сот.картон	Сатин/РЕТ	Толщина
Прогиб, мм	Массе, кг	Прогиб, мм	Массе, кг
15,835	2,669	1,6831	17,245
			2,236

слоя = 0.5 мм

Оптимизация конструкции – 3-й этап

Варируется толщина наполнителя

Табл.7 – Варианты толщины наполнителя для требуемого прогиба

	Слой наполнителя		
Исходная толщина наполнителя (мат.ожидание), мм	19,1		
	3 слоя армирования волокнами льна 45°, -45°, 0°	3 слоя армирования волокнами льна 0°, 90°, 0°	5 слоев армирования волокнами льна 0°, 90°, 0°, 90°, 0°
Толщина бальзового наполнителя	21,8 мм	19,1 мм	18,5 мм
Масса конструкции	2,8 кг	2,569 кг	3,14 кг
Максимальный прогиб	10 мм	13,82 мм	8,7 мм
Толщина сотового наполнителя	22,7 мм	19,1 мм	18,5 мм
Масса конструкции	1,69 кг	1,578 кг	2,18 кг
Максимальный прогиб	10 мм	14,76 мм	10,331 мм
Толщина панели ПЭТ	23,1 мм	19,1 мм	18,5 мм
Масса конструкции	2,39 кг	2,134 кг	2,718 кг
Максимальный прогиб	10 мм	15,238 мм	10,528 мм

Оценка чувствительности параметров

Табл.8 – Параметры расчета методом FORM

Параметры, для которых оценивается чувствительность	
Переменные, которые варьируются в процессе расчета	
Целевой параметр	масса
Ограничительный параметр	прогиб

Эластичность (чувствительность) параметра:

$$e_m^\beta = -\frac{1}{\sigma} \frac{u_i^* m}{\beta} = \frac{\alpha_i m}{\sigma \beta}$$

Превышение конструкцией прогиба в 10 мм – критерий отказа

Табл.9 – Оценка эластичности параметров

	Среднее, МПа	СКО	Напр.косинус	Эластичность
E1_flax	4200	114	0	0
E2_flax	36000	2406	0,968	4,58
E3_flax	4200	114	0,193	2,13
v12_flax	0,06	0,004	0	0
v13_flax	0,25	0,025	0,000333	0,00088
v23_flax	0,494	0,0085	0,102	0,445
G12_flax	2133	70	0,00583	0,0154
G13_flax	1600	50	0,0045	0,0119
G23_flax	2133	70	0,105	0,278
E1_balsa	1116	111,6	0,00425	0,0113
E2_balsa	1	0,1	0,000167	0,000443
E3_balsa	1	0,1	0,0005	0,00132
v12_balsa	0,4	0,04	0	0
v13_balsa	0,4	0,04	0	0
v23_balsa	0,4	0,04	0,000333	0,000882
G12_balsa	123	17	0,0355	0,068
G13_balsa	81	8	0,0549	0,132
G23_balsa	1	0,1	0,000333	0,00088

Оценка вероятности отказа

Варьируются E_{2_FT} , E_{3_FT} , v_{23_FT} , G_{23_FT} , G_{12_core} , G_{13_core}

	Бальза	Сотовый картон	РЕТ
3 композитных слоя (45°, -45°, 0°)			
Толщина наполнителя	23 мм	25 мм	25,5 мм
Масса конструкции	2,9 кг	1,778 кг	2,537 кг
Вероятность отказа	0,096	0,05	0,037
4 композитных слоя (0°, 45°, -45°, 0°)			
Толщина наполнителя	24,5 мм	25,5 мм	26 мм
Масса конструкции	3,03 кг	1,79 кг	2,57 кг
Вероятность отказа	0,01	0,01	0,01
5 композитных слоев (45°, -45°, 45°, -45°, 0°)			
Толщина наполнителя	18,8 мм	18,8 мм	18,8 мм
Масса конструкции	2,544 кг	1,879 кг	2,426 кг
Вероятность отказа	0,57	0,65	0,69
5 композитных слоев (45°, -45°, 45°, -45°, 0°)			
Толщина наполнителя	18,5 мм	18,5 мм	18,5 мм
Масса конструкции	3,14 кг	2,18 кг	2,718 кг
Вероятность отказа	0,019	0,34	0,37

Результаты и выводы

В ходе исследования:

- Проведен выбор моделей материалов, изготовлены образцы и проведены испытания для композитных материалов обшивки с целью определения механических параметров материалов и их законов распределения.
- Разработан ряд подпрограмм для создания многоциклового численного расчета модели, в том числе файлы пост-обработки результатов;
- Проведена численная оптимизация конструкции пола багажника автомобиля методами Монте-Карло, FORM с использованием программных комплексов SIMBAD, Matlab и Abaqus;
- Проведена оценка эластичности (чувствительности) параметров оптимизации и оценка вероятности отказа вариантов оптимизированных конструкций.

Оптимальный вариант конструкции с вероятностью отказа 0,01, предлагаемый к дальнейшим испытаниям и изготовлению:

Вариант для минимизации массы:

- обшивки: композитный материал, армированный льняными волокнами Flaxtare 110-36/эпоксидная смола GreenRoxu 56/отвердитель SD 7561, 3 слоя, ориентация слоев 45°, -45°, 0°.
- наполнитель: Сотовый картон Н-3D-140-1400-8.1-20.0-N-57 Аххог, толщина 25,5 мм. Масса конструкции 1,795 кг, общая толщина 26,4 мм.

Вариант с минимальной толщиной:

- обшивки: композитный материал, армированный льняными волокнами Flaxtare 110-36/эпоксидная смола GreenRoxu 56/отвердитель SD 7561, 5 слоев, ориентация слоев 45°, -45°, 45°, -45°, 0°.
- наполнитель: Бальза Baltek SB 50, толщина 19 мм. Масса конструкции 3,182 кг, общая толщина 20,5 мм.

Благодарю за внимание!