

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра теоретической и прикладной механики

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БАМПЕРА АВТОМОБИЛЯ**

Выполнил: студент гр.2-33М В.А. Зуев

Руководитель: к. т. н., доцент М.А. Ноздрин

Иваново 2021

# Актуальность исследования

При проектировании элементов пассивной безопасности, защищающих человека при столкновении, основной задачей является рассеивание кинетической энергии таким образом, чтобы обеспечить минимальное её воздействие на человека.

Актуальность исследований в данной области обусловлена необходимостью разработки конечно-элементной модели, способной смоделировать упругопластическое поведение материалов при воздействии на них статических и динамических нагрузок.

# Объект и предмет исследования

- Объектом исследования является напряженно-деформируемое состояние элемента бампера автомобиля.
- Предметом исследования является изучение свойств материала и создание конечно-элементной модели энергопоглощающего элемента бампера под действием динамической нагрузки.

# Цель и задачи исследования

- Целью является исследование механических свойств образца из вспененного полипропилена и построение компьютерной модели энергопоглотителя бампера автомобиля с учетом найденных свойств.
- Рассматриваемые задачи:
  - исследование механических характеристик вспененного полипропилена;
  - разработка компьютерной модели бампера автомобиля;
  - сравнение результатов энергопоглощения различных материалов.

# Совершенствование энергопоглощающих устройств бампера автомобиля



Рис.1- Автомобили разных этапов развития бампера

# Структурные элементы переднего бампера автомобиля

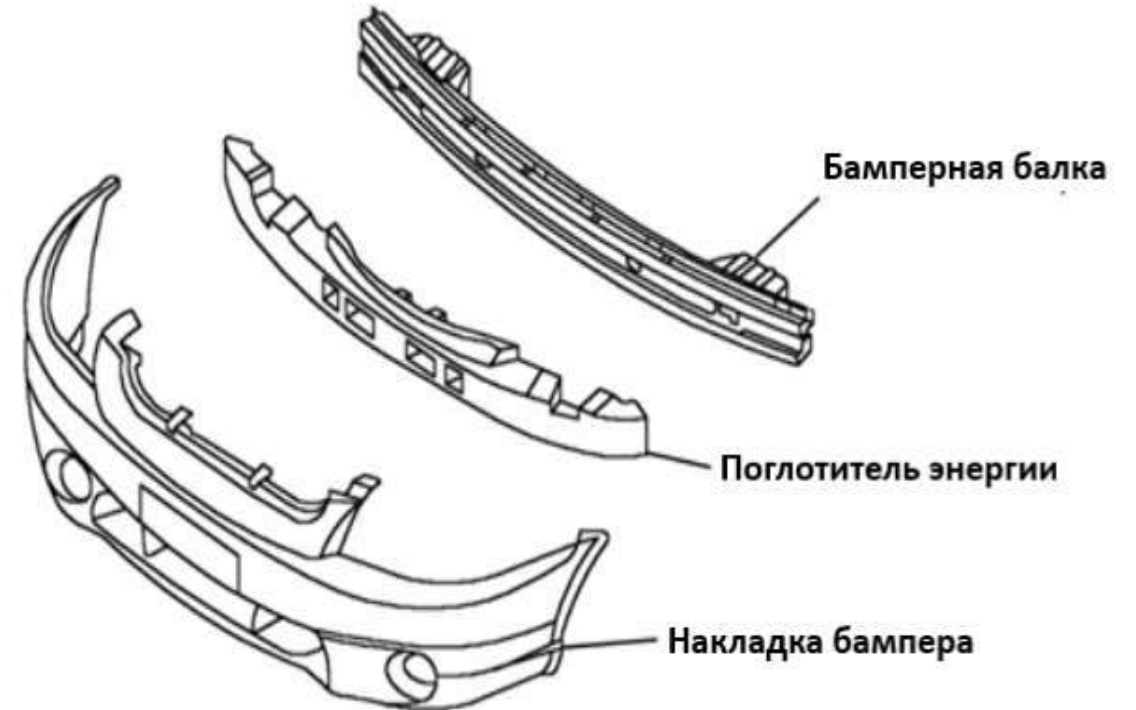


Рис.2- Основные элементы переднего бампера

# Структура вспененного полипропилена

Полипропилен



Рис. 3- Гранулы полипропилена

Вспененный полипропилен



Рис. 4 - Гранулы вспененного полипропилена

# Проведение испытания на сжатие



Рис. 5 – Энергопоглощающая деталь бампера автомобиля



Рис. 6 – Испытательная машина с образцом



# Результат испытания на сжатие

- Материал – вспененный полипропилен;
- Плотность  $30 \text{ кг/м}^3$ ;
- Коэффициент Пуассона  $0,1$ ;
- Предел пропорциональности равен  $0,1 \text{ МПа}$ ;
- Модуль упругости при сжатии для вспененного полипропилена составил  $E = 3,38 \text{ МПа}$ .

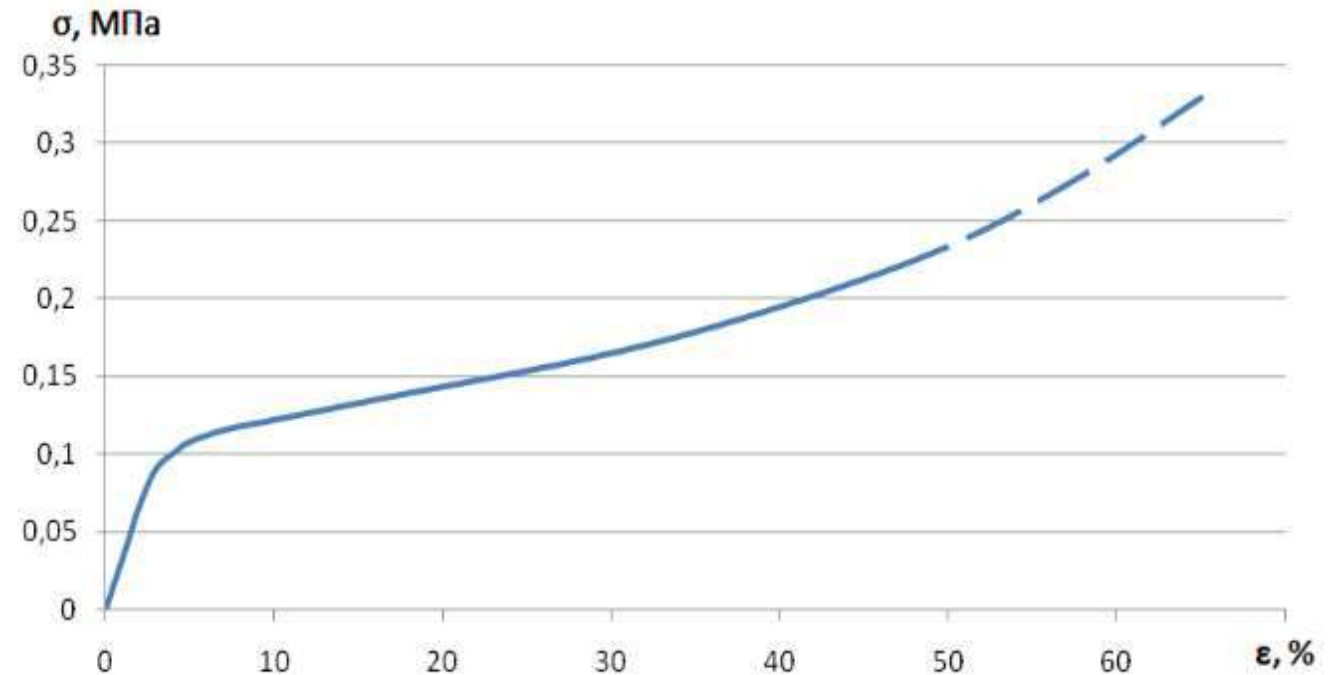


Рис. 7 - Диаграмма сжатия вспененного полипропилена

# Расчетная модель энергопоглощающего элемента бампера

Размеры модели 1170×185×143 мм  
Материал – вспененный полипропилен.

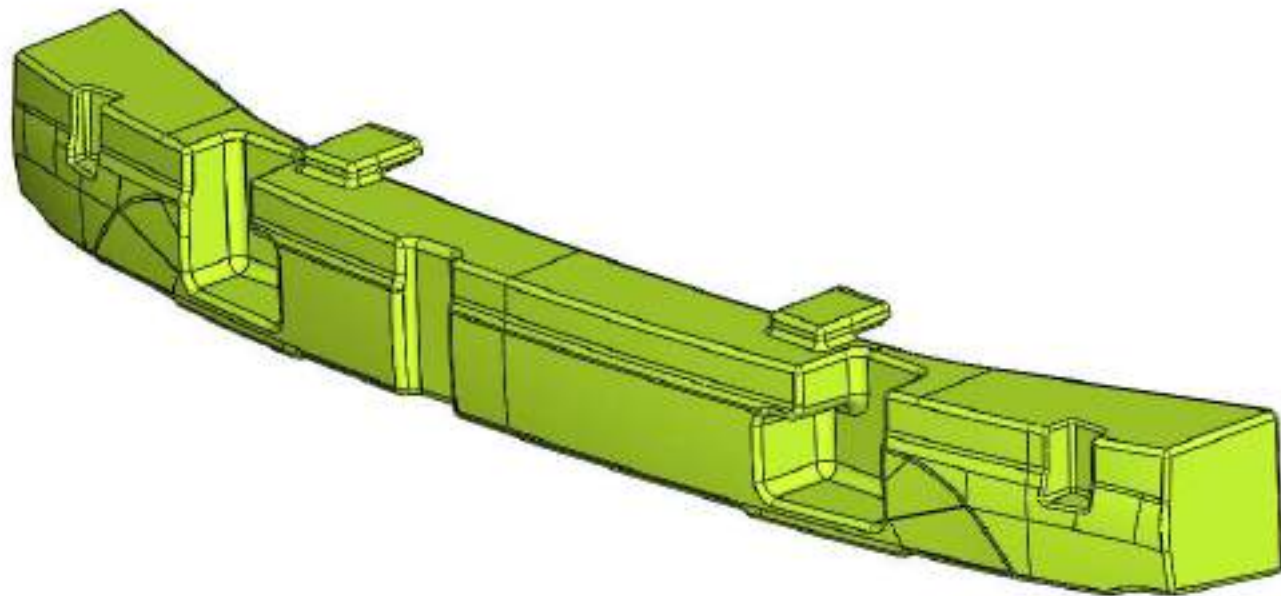


Рис. 8 - Геометрическая 3D модель исследуемого элемента бампера

Диаметр ударного элемента 70 мм, высота – 200 мм.  
Материал – резина, плотность 1000 кг/м<sup>3</sup>, модуль упругости 5 МПа.



Рис. 9 - 3D модель ударного элемента

# Математическая постановка задачи теории упругости

Уравнения движения:

$$\sigma_{ij,i} + \rho F_j = \rho \ddot{u}_j, \quad i, j = 1, 2, 3$$

где  $\sigma_{ij}$  - тензор напряжений,

$\rho$  - плотность материала,

$F_j$  - массовая сила,

$u_j$  - перемещение.

Геометрические уравнения:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}),$$

где  $\varepsilon_{ij}$  - тензор деформации.

# Задание граничных условий

Скорость ударного элемента 10 м/с;  
Материал бампера – вспененный полипропилен;  
Материал ударника – резина.

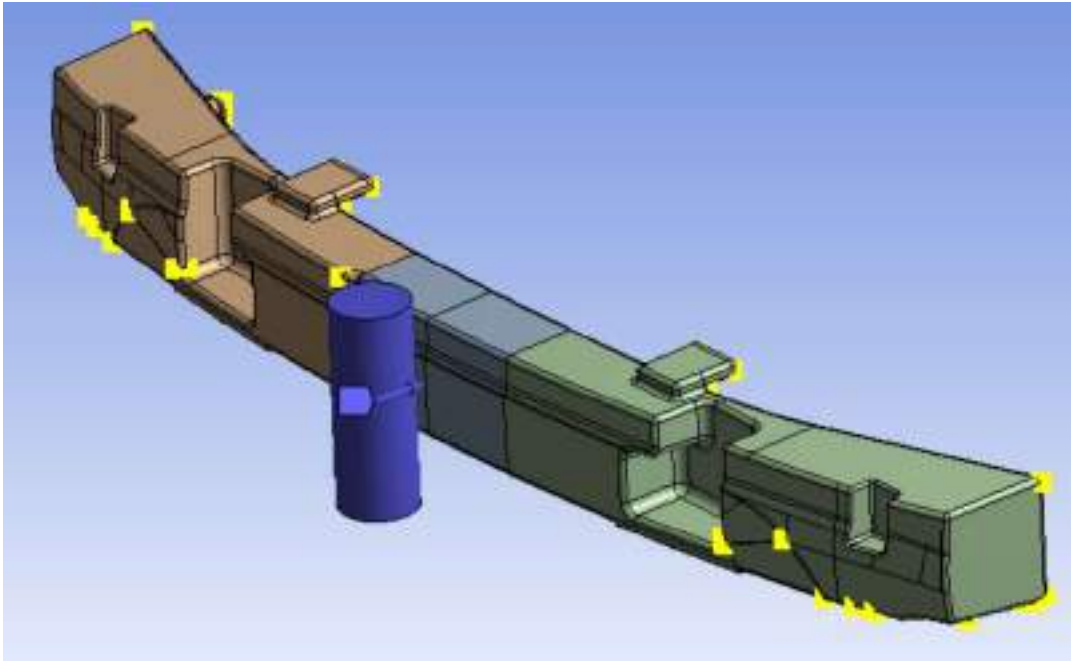


Рис. 10 - Модель бампера с ударником

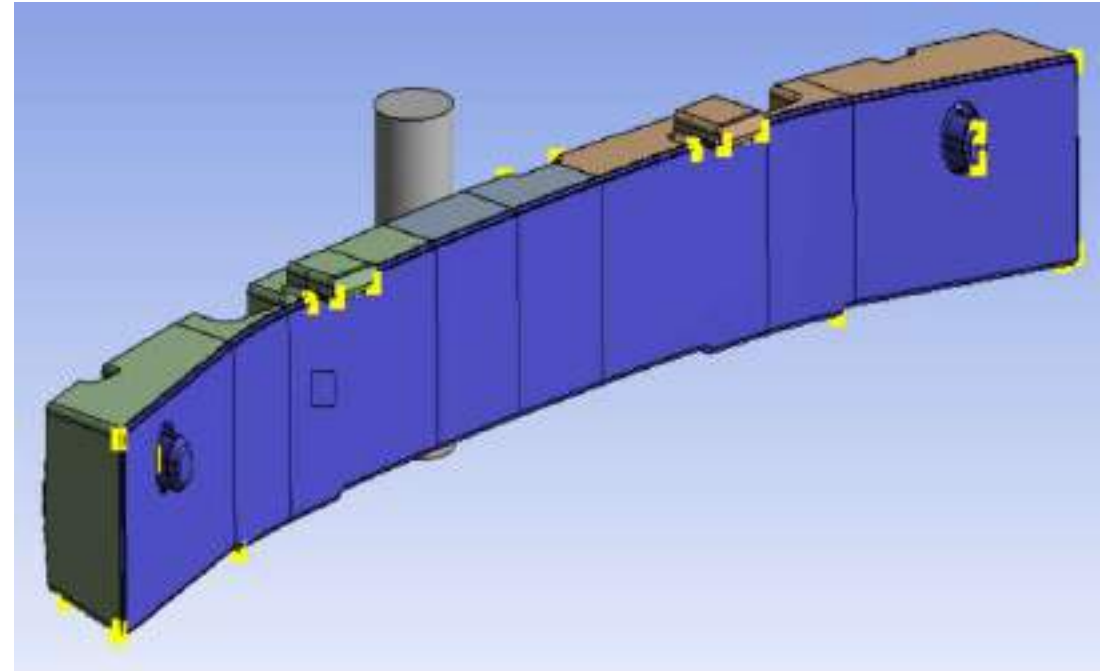


Рис. 11 - Задание ограничений перемещения бампера

# Создание конечно-элементной сетки в программном комплексе ANSYS

Общее количество элементов – 149232, количество узлов – 29423.

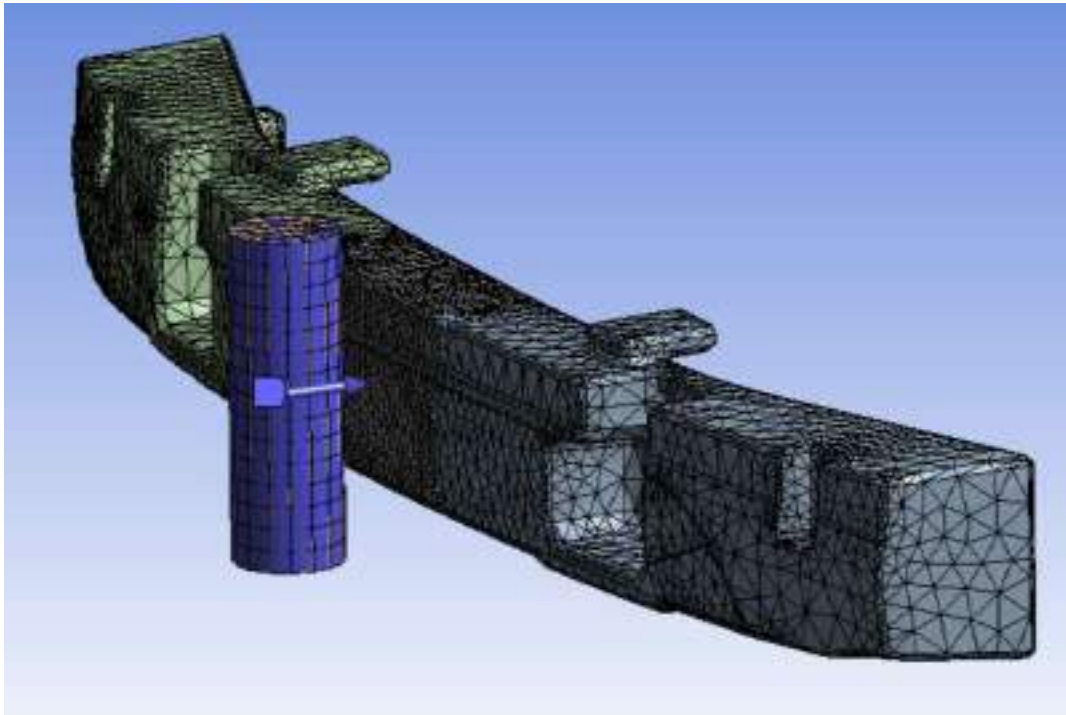


Рис. 12 - Модель бампера с ударником

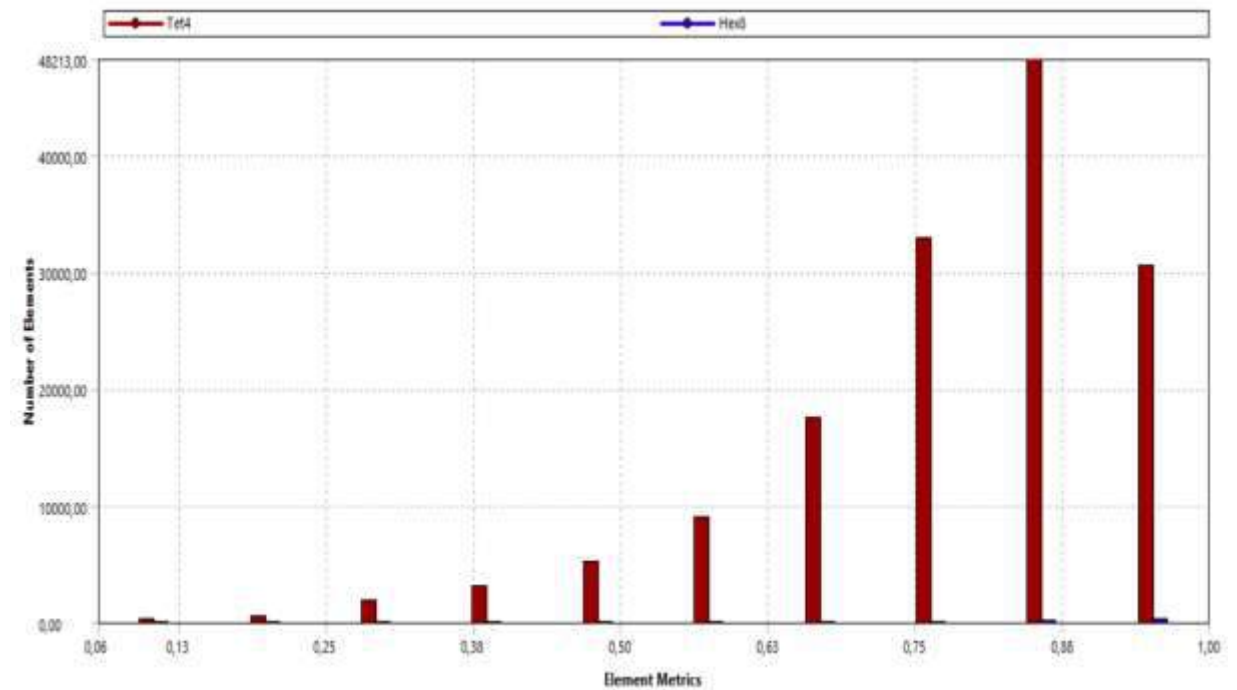


Рис. 13 - График качества элементов сетки

# Моделирование динамического удара

Максимальное напряжение в бампере при ударе составило 1,35 МПа.

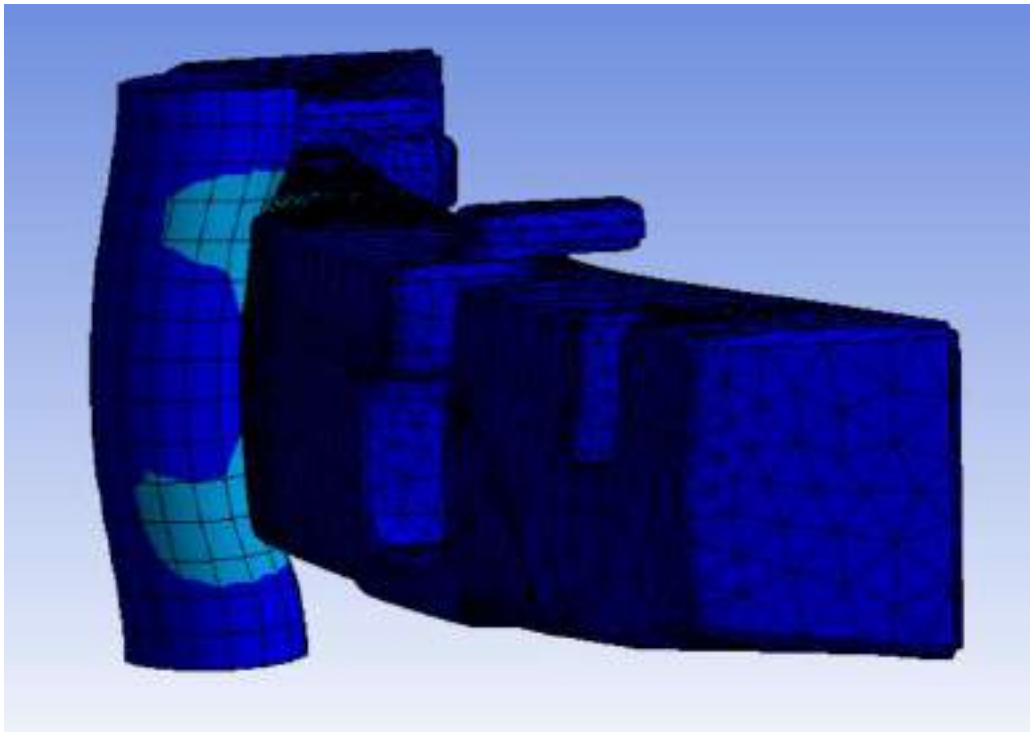


Рис. 14 - Момент удара ударника по бамперу

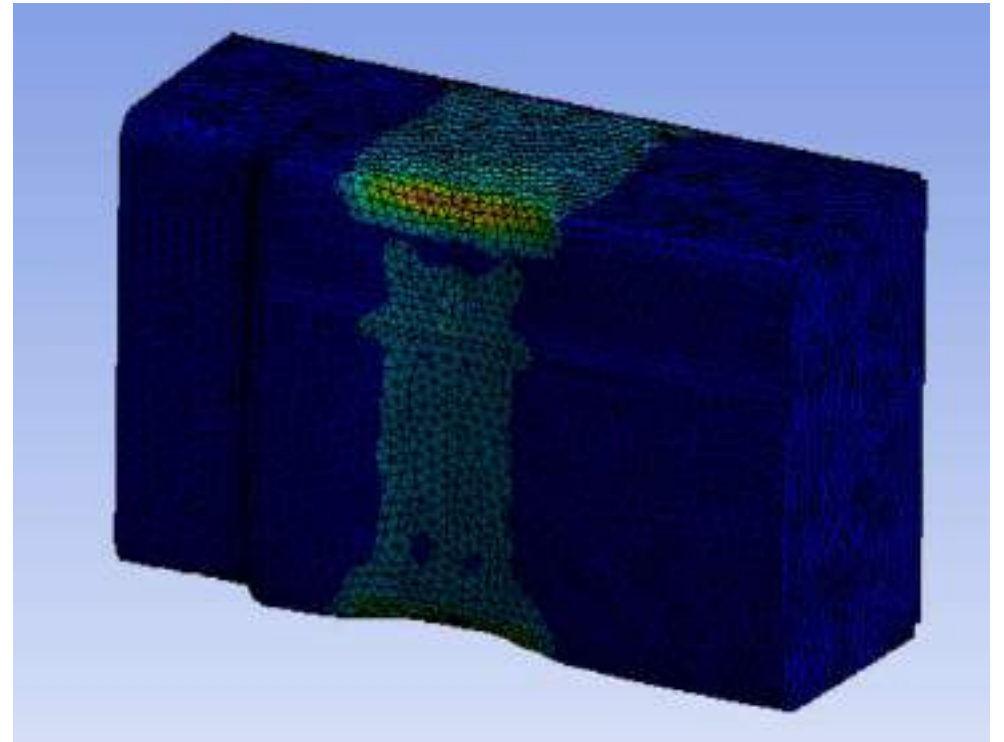


Рис. 15 - Распределение напряжений по участку бампера

# Результат изменения напряжения в области удара элемента бампера

При скорости ударника 10 м/с, максимальное напряжение в бампере составило 1,35 МПа. Время расчета принято равным 0,01 с. Удар происходит в момент времени 0,0015 с., а в момент времени 0,0065 с. достигает максимума напряжения.

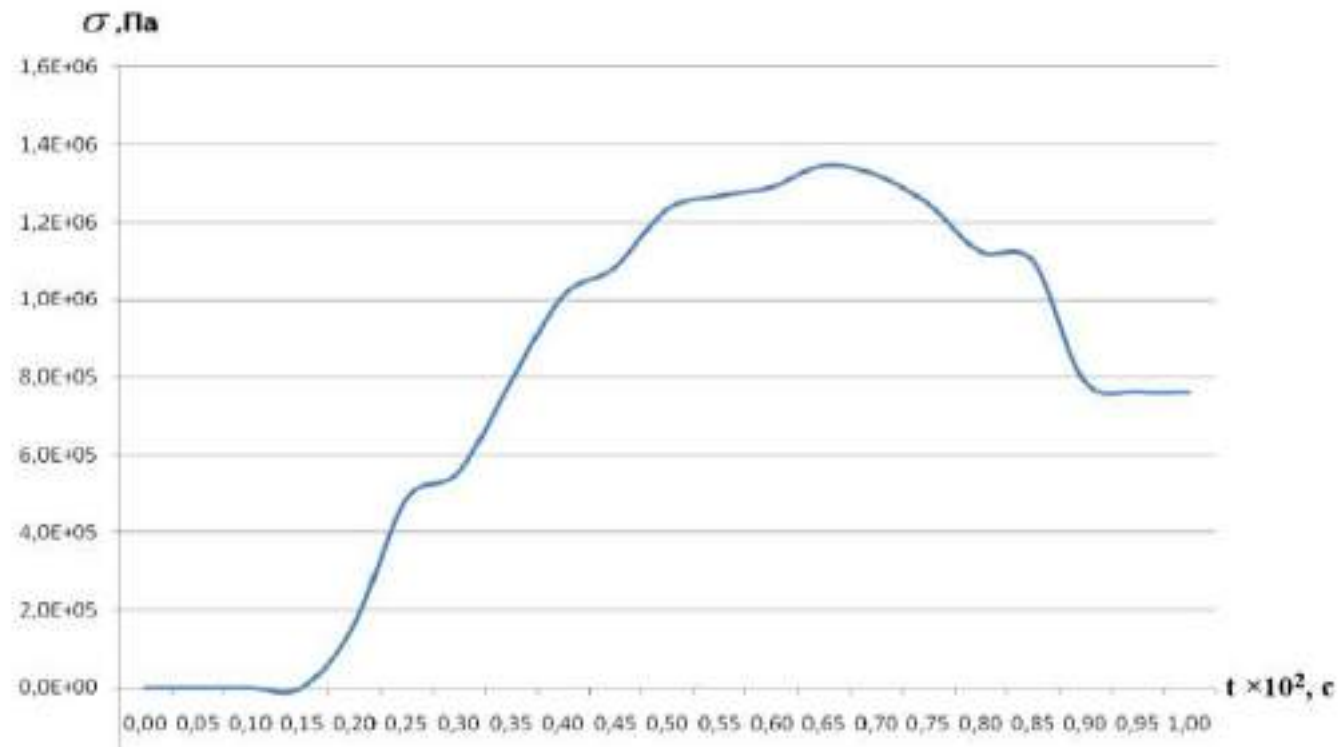


Рис. 16 - График изменения напряжения в элементе бампера

# Сравнение результатов изменения напряжения в опасном узле бампера

Изменение напряжения вспененного полипропилена

Изменение напряжения пенополистирола

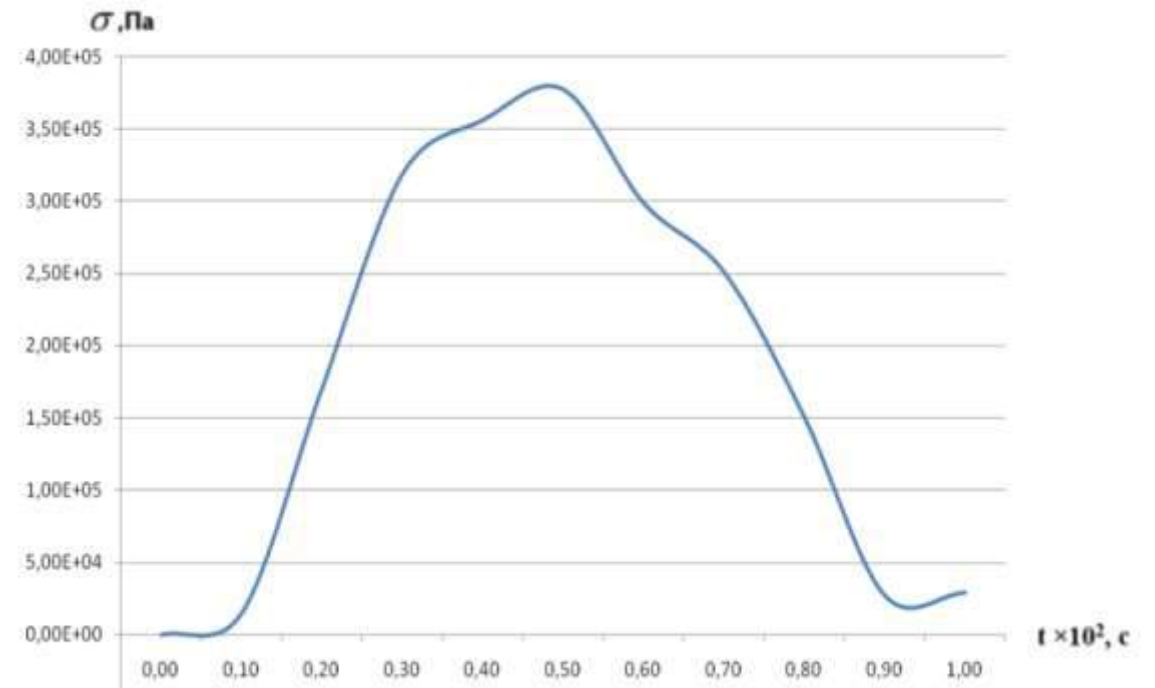
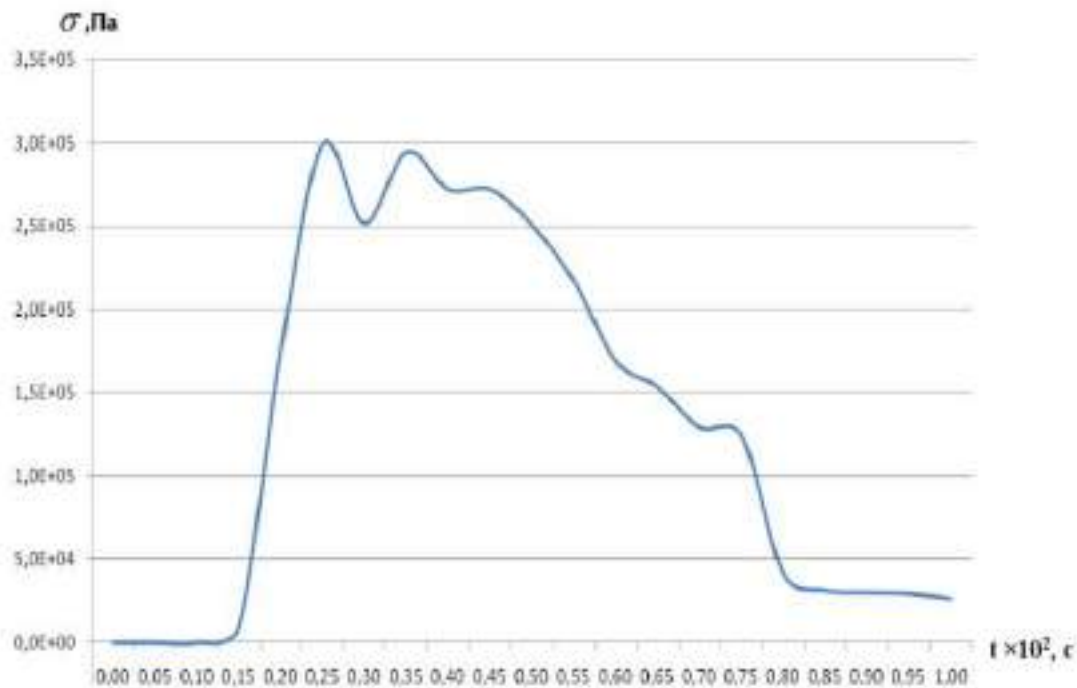


Рис. 17 - График изменения напряжения пенополипропилена в элементе бампера

Рис. 18 - График изменения напряжения пенополистирола в элементе бампера



# Сравнение результатов поглощения энергии в опасном узле бампера

Максимальное значение поглощенной энергии 1330 Дж/кг.

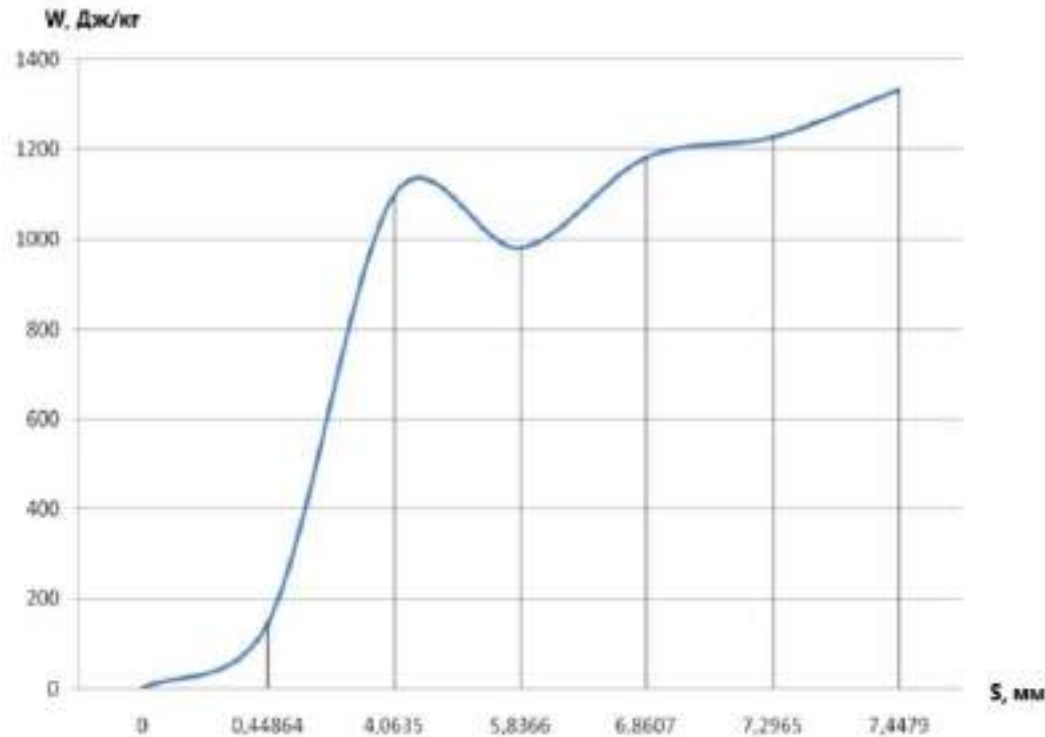


Рис. 19 - График распределения внутренней энергии пенополипропилена

Максимальное значение поглощенной энергии 4730 Дж/кг.

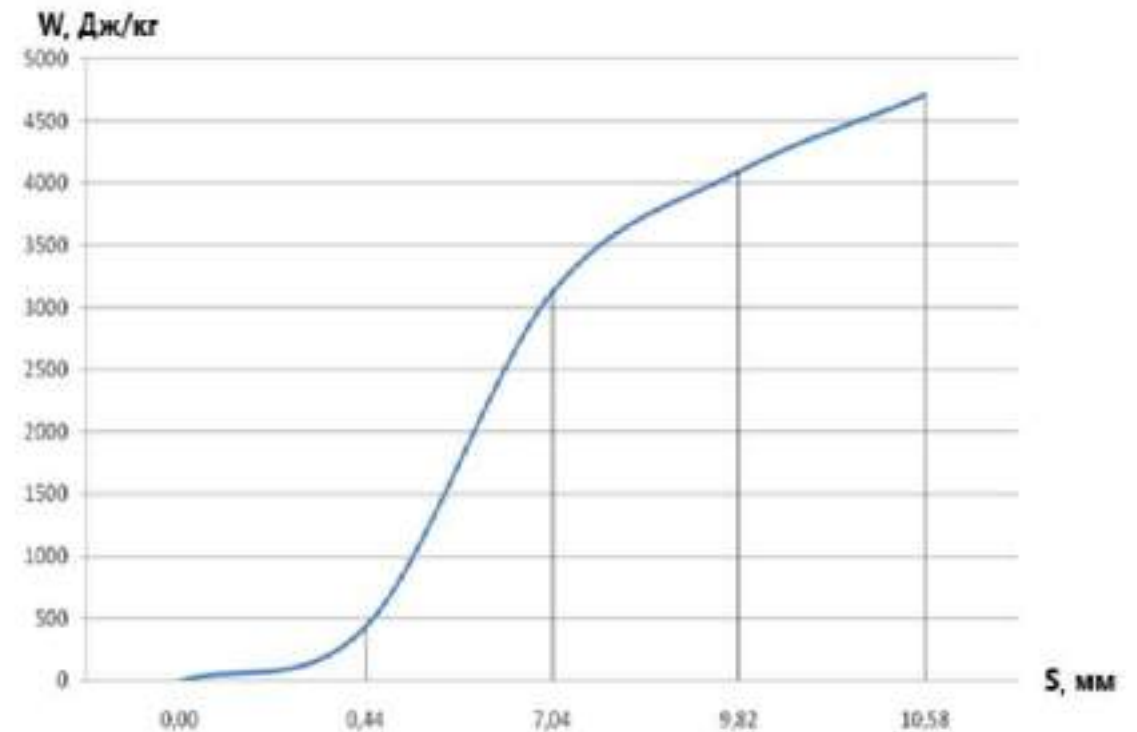


Рис. 20 - График распределения внутренней энергии пенополистирола

# Сравнение полученных результатов двух материалов

Таблица 1 – Сравнение физико-механических характеристик материалов

Физико-механические характеристики	Пенополипропилен	Пенополистирол
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	30	12
Модуль Юнга, МПа	3,36	2,2
Коэффициент Пуассона	0,1	0,1
Максимальное напряжение в узле (при скорости ударника 10 м/с), МПа	0,3	0,38
Максимальная глубина вдавливания, мм	7,45	10,6
Максимальная поглощенная внутренняя энергия, Дж/кг	1330	4730

# Выводы по работе

- Изучены и экспериментально найдены механические характеристики вспененного полипропилена;
- Создана конечно-элементная модель энергопоглощающего бампера автомобиля с использованием полученных характеристик исследуемого материала;
- Проведено сравнение двух материалов. Получено, что значение поглощения энергии вспененного полипропилена не превышает значения 4 Дж/кг (норма установлена компанией-производителем автомобилей), а значит удовлетворяет требованиям. Пенополистирол имеет большее значение поглощения энергии, однако из-за существенно меньшей деформационной способности и «мягкости» материала не может быть использован в качестве материала для энергопоглотителей бампера.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра теоретической и прикладной механики

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БАМПЕРА АВТОМОБИЛЯ**

Выполнил: студент гр.2-33М В.А. Зуев

Руководитель: к. т. н., доцент М.А. Ноздрин

Иваново 2021