

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ABAQUS В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ И ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КУЗОВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Л.Н. Орлов – *д.т.н., профессор*, А.В. Тумасов – *к.т.н., доцент*

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева  
Автомобильный институт, кафедра «Автомобили и тракторы», Нижний Новгород, Россия*

Расчетные методы оценки прочности и пассивной безопасности кузовных конструкций широко используются в инженерной практике на этапах разработки, доводки и сертификации автотранспортных средств. В этой связи при подготовке специалистов и магистров по направлению «Наземные транспортные системы» особое внимание уделяется изучению соответствующих методов и программных комплексов, позволяющих разрабатывать конечно-элементные модели (КЭМ) кузовных конструкций и моделировать различные условия их нагружения в соответствии с требованиями нормативных документов.

С точки зрения организации учебного процесса, программа [ABAQUS Student Edition](#) является весьма удобным инструментом освоения базовых понятий метода конечных элементов и способов имитационного моделирования условий эксплуатации и испытаний кузовных конструкций транспортных средств. Так например, на кафедре «Автомобили и тракторы» Автомобильного института НГТУ им. Р.Е. Алексева программа [ABAQUS](#) используется на лабораторных и практических занятиях при подготовке бакалавров, специалистов и магистров по следующим курсам: «Строительная механика автомобиля», «Основы проектирования кузовов», «Прочность и безопасность кузовных конструкций» (таблица 1).

На соответствующих занятиях изучаются алгоритмы построения КЭМ; рассматриваются особенности проведения линейных и нелинейных расчетов, по результатам которых оценивается степень соответствия различных кузовных конструкций требованиям ГОСТов и Правил ЕЭК ООН. С учетом специфики указанных дисциплин можно выделить следующие достоинства пакета ABAQUS Student Edition:

- подробная документация к программе;
- понятный и удобный интерфейс;
- возможность импорта простых эскизов в формате .dxf;
- «логичность» процесса работы с моделью;
- пространственная визуализация стержневых конечно-элементных моделей;
- возможность выполнения линейных и нелинейных расчетов;
- широкие возможности анализа результатов расчетов.

**Таблица 1 – Направления подготовки кафедры «Автомобили и тракторы»**

Базовые образовательные программы	Бакалавр	Специалист	Магистр
Направления и специальности	190100 Наземные транспортные системы	190200 Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы  <i>Специальности:</i> 190201 Автомобиле- и тракторостроение 190202 Многоцелевые гусеничные и колесные машины	190100 Наземные транспортные системы
Дисциплины	Строительная механика автомобиля	Основы проектирования кузовов	Прочность и безопасность кузовных конструкций

Для примера, рассмотрим последовательность действий, выполняемых студентом при выполнении расчетной работы по оценке прочности кабины грузового автомобиля. Согласно существующим требованиям, кабина должна иметь соответствующую несущую способность по разрушающим нагрузкам. Кабина должна обеспечивать поглощение энергии удара, сохранение внутреннего остаточного пространства безопасности для водителя и пассажиров в случаях фронтального столкновения автомобиля с препятствием и опрокидывания автомобиля. Она также должна выдерживать удар в заднюю стенку незакрепленного на платформе груза. Эти требования в настоящее время регламентируются ГОСТ Р 41.29-99 (Правилами ЕЭК ООН №29, рисунок 1).

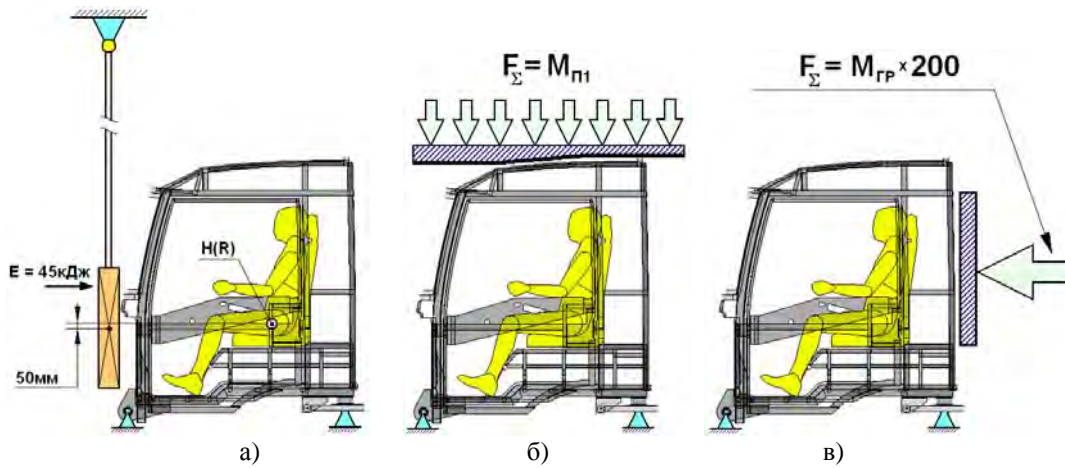


Рисунок 1 – Схемы нагружения кабины  
 а) фронтальное, б) вертикальное, в) нагружение задней стенки

В соответствии с полученным заданием (сборочным чертежом кабины, информации по автомобилю и др.) студент должен: разработать стержневую модель кабины (рисунок 2а), задать свойства материалов конструкции и характеристики поперечных сечений силовых элементов, сориентировать сечения каждого элемента в пространстве (рисунок 2б), разбить модель на конечные элементы, задать условия нагружения и закрепления, выполнить статический прочностной расчет, проанализировать полученные результаты (рис. 2в).

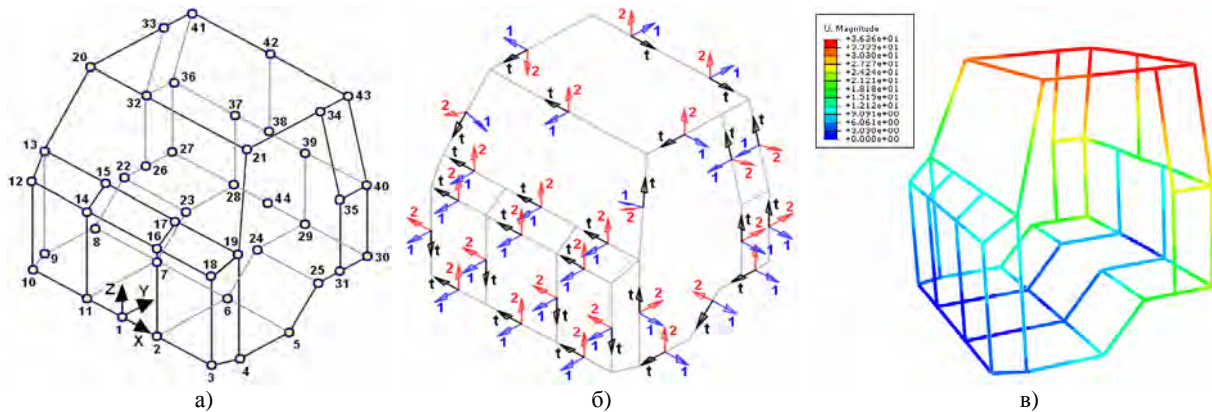


Рисунок 2 – Статический упругий расчет каркаса кабины  
 а) геометрическая модель, б) ориентация сечений силовых элементов каркаса кабины, в) результаты расчета (эпюра деформаций)

Следующим этапом расчетных исследований является анализ поведения конструкции с учетом нелинейной характеристики материала конструкции (рисунок 3). Результаты нелинейного статического анализа позволяют по графикам перемещения контрольных точек (рисунок 4) оценить характер деформируемости каркаса кабины, проверить условие сохранения остаточного жизненного пространства внутри кабины, дать оценку прочности и безопасности конструкции.

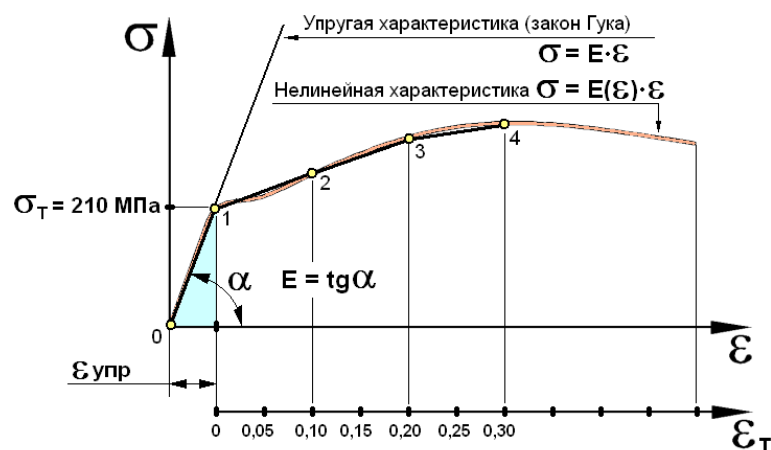


Рисунок 3 – Упругая (линейная) и упруго-пластическая (нелинейная) характеристики изотропного материала (кузовной стали)

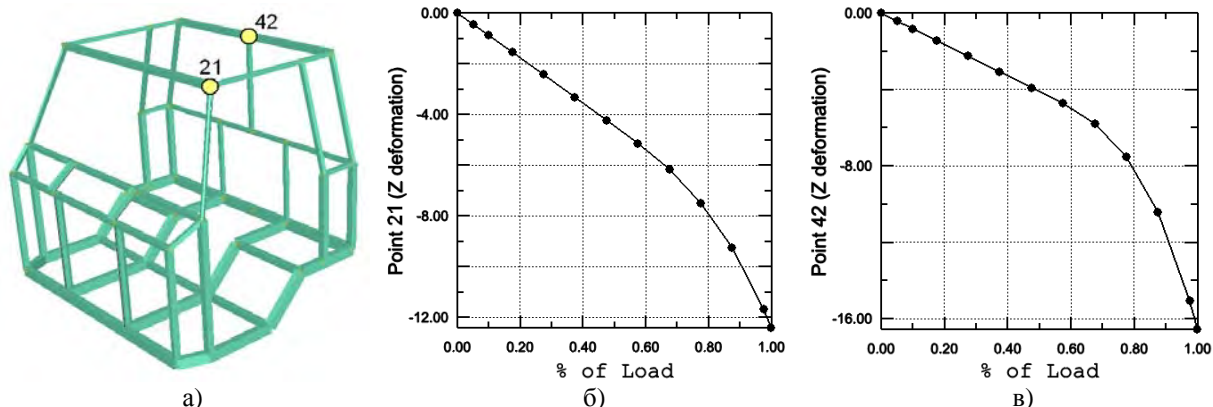


Рисунок 4 – Результаты статического нелинейного анализа при вертикальном нагружении кабины  
а) схема расположения контрольных точек, б) и в) вертикальные перемещения контрольных точек

Аналогичный объем расчетных работ выполняется студентами при разработке силовых схем кузовов автобусов в рамках курсовой работы по дисциплине «Основы проектирования кузовов». Разрабатываемая конструкция кузова должна отвечать требованиям безопасности Правил ЕЭК ООН №66, регламентирующих условия проведения испытаний на опрокидывание автобуса с уступа (рисунок 5). В соответствии с требованиями нормативных документов, после опрокидывания, в салоне автобуса должно оставаться регламентированное пространство безопасности для пассажиров (рисунок 6).



Рисунок 5 – Испытания автобуса по Правилам ЕЭК ООН №66

Курсовая работа предполагает выполнение следующих этапов:

- Выбор силовой схемы кузова автобуса (рисунок 7а);
- Разработка расчетной модели кузова;
- Прочностной анализ конструкции (статический линейный расчет на изгиб и кручение);
- Корректировка расчетной модели по результатам упругого расчета (усиление слабых мест, перераспределение металла);
- Анализ работоспособности модели кузова в условиях действия аварийной нагрузки (статический нелинейный расчет, рисунок 7б);
- Выводы по результатам анализа;
- Разработка рекомендаций и способов повышения пассивной безопасности конструкции.

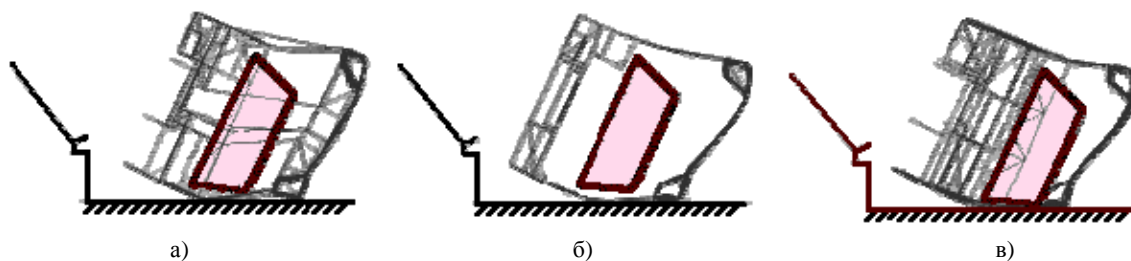
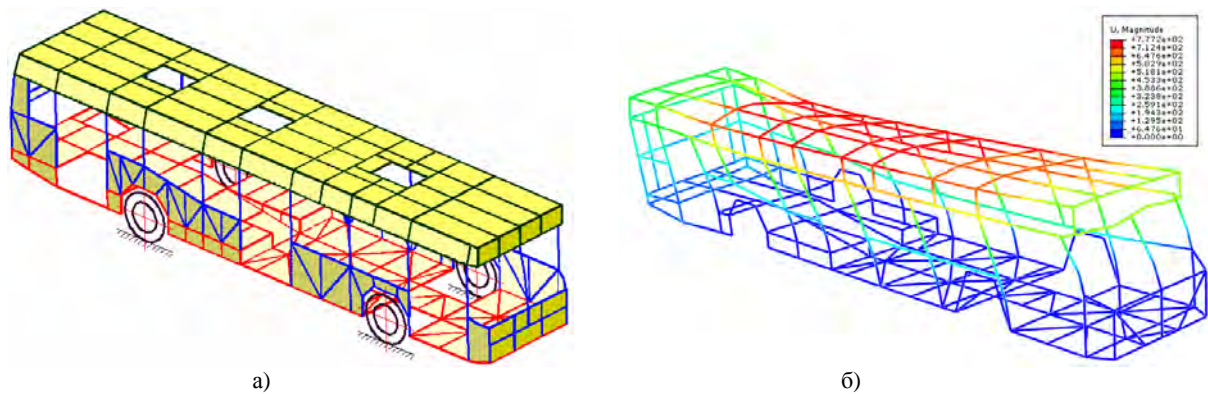
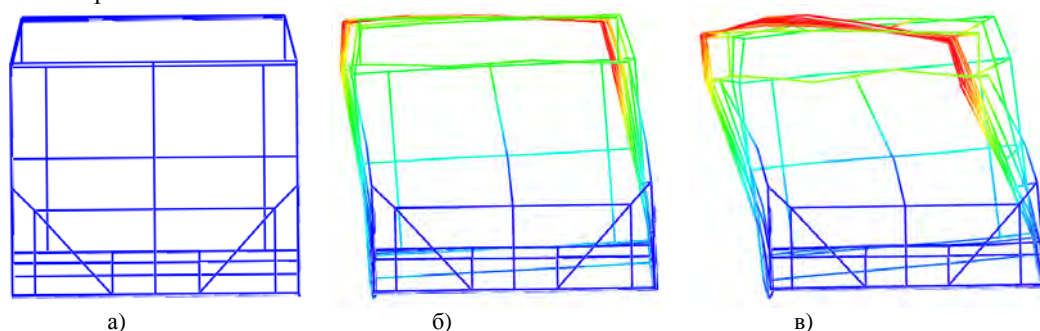


Рисунок 6 – Деформации конструкции кузова и регламентированная зона безопасности  
а) передняя секция, б) средняя секция, в) задняя секция



а) б)  
Рисунок 7 – Исследование несущей способности кузова автобуса  
а) силовая схема кузова, б) результаты статического нелинейного расчета

Возможности программного комплекса ABAQUS Student Edition позволяют оценить характер разрушения кузова автобуса под действием аварийной нагрузки (рисунок 8), определить величины перемещений контрольных точек конструкции (рисунок 9) и сделать вывод об уровне безопасности разработанного каркаса.



а) б) в)  
Рисунок 8 – Деформируемость каркаса кузова автобуса  
а) недеформированное состояние, б) деформации кузова при нагрузке, составляющей 50% от регламентированного значения, в) итоговые деформации конструкции

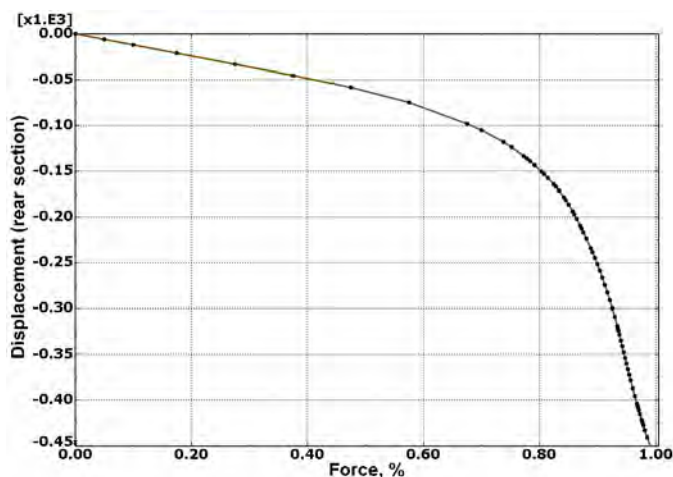


Рисунок 9 – График перемещения узла крыши автобуса

Таким образом, использование учебной версии программы ABAQUS Student Edition помогает студентам и магистрантам технических специальностей относительно легко и быстро изучить базовые основы метода конечных элементов, а также научиться решать целый ряд учебно-практических задач:

- Разработка стержневых КЭМ рам и кабин грузовых автомобилей, кузовов легковых автомобилей и автобусов;
- Оценка прочности конструкций в условиях изгиба и кручения;
- Оценка пассивной безопасности конструкций в условиях возможных аварийных ситуаций и действия регламентированных режимов нагружения;
- Исследование степени влияния отдельных конструктивных элементов на прочность и пассивную безопасность кузовных конструкций.

Использование возможностей программы ABAQUS Student Edition позволяет студентам и магистрантам выполнять курсовые работы, научно-исследовательские работы, а также дипломные проекты на высоком научно-техническом уровне.