

УДК 629.113

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НА ПОВЫШЕНИЕ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КУЗОВОВ АВТОБУСОВ ИЗ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ

А. С. Вашурин, ст. преп. / Л. Н. Орлов, д. т. н, проф. / А. В. Тумасов, к. т. н, доц. / Д. И. Сизоненко, инж. НГТУ

Проблема снижения тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий является одной из важнейших. При этом особое внимание уделяется вопросам повышения пассивной безопасности автобусов, поскольку среди ДТП с тяжкими последствиями аварии с участием автобусов занимают около 30 % [1]. Пассивная безопасность многоместных пассажирских транспортных средств регламентируется требованиями Правил ЕЭК ООН № 66. Одним из перспективных направлений повышения технических характеристик является применение в кузовах автобусов многослойных панелей. Существующие методики расчётной и расчётно-экспериментальной

оценки соответствия кузова автобуса требованиям этих правил разрабатывались для автобусов классической конструкции, имеющих металлический пространственный стержневой каркас с листовой обшивкой [2, 3]. Поэтому они не совсем подходят для оценки пассивной безопасности автобусов с кузовами из многослойных панелей. Кузова автобусов из многослойных панелей, в отличие от кузовов классической конструкции, не имеют металлического каркаса. Зачастую они вообще не имеют силовых металлических деталей. Поведение многослойных панелей при нагружении отличается от поведения обычной подкреплённой оболочки. В России много-



Рисунок 1. Варианты многослойных панелей: а — вариант № 1; б — вариант № 2; в — вариант № 3; г — вариант № 4



*Рисунок 2.*

Фрагменты испытаний образцов:

- а — алюминия при одноосном растяжении;
- б — композитного материала при одноосном растяжении;
- в — пенополистирола при одноосном растяжении;
- г — пенополистирола при одноосном сжатии



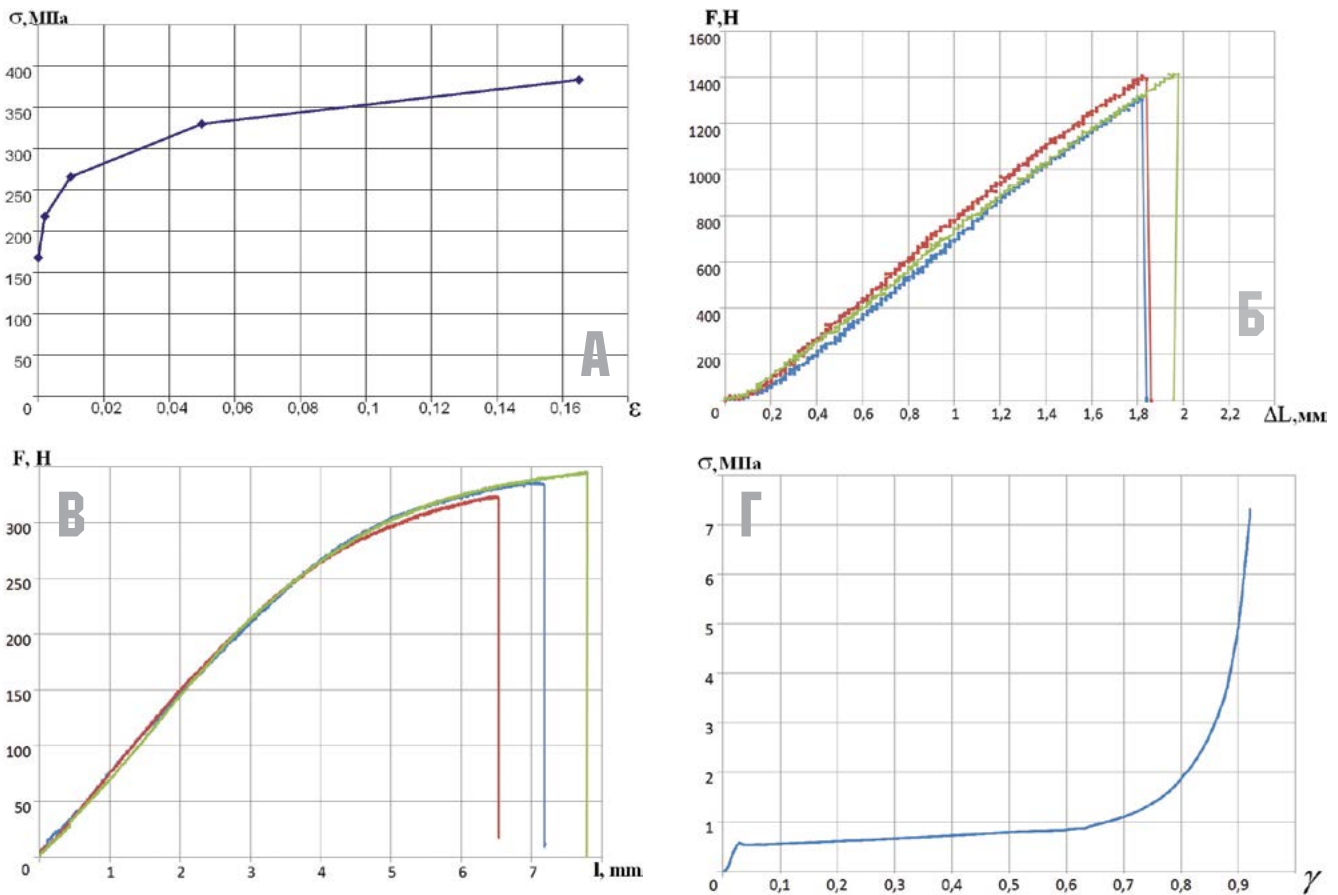


Рисунок 3. Результаты испытаний образцов материалов: а — кривая пластического упрочнения алюминиевого сплава; б — диаграмма деформирования образца из композитного материала при растяжении; в — Диаграмма деформирования образца из пенополистирола при растяжении; г — График зависимости напряжения от объемной деформации

слоистые панели получили распространение в кузовах вахтовых автобусов. Как правило, автобусы такого типа изготавливаются в большом количестве модификаций, отличающихся количеством слоёв панелей, типом наружных обшивок, способом соединения панелей кузова, конструкцией основания.

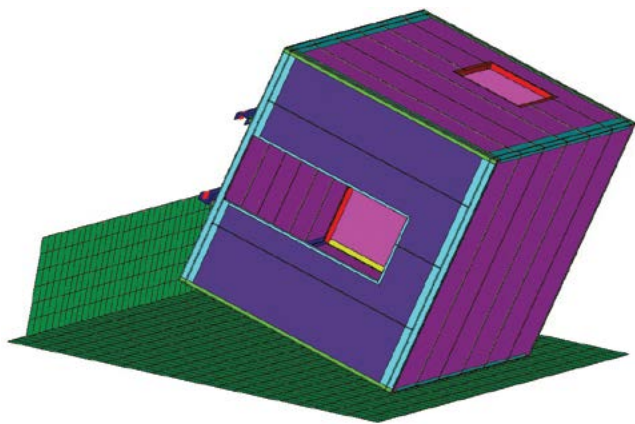


Рисунок 4. Общий вид конечно-элементной модели кузова

Поэтому возникают задачи по оценке влияния этих конструктивных решений на пассивную безопасность автобусов [4].

В данной работе рассмотрены четыре варианта кузова вахтового автобуса, имеющие одинаковые внешние габариты и пассажироместимость, от-



Рисунок 5. Деформированный вид модели кузова в базовом варианте

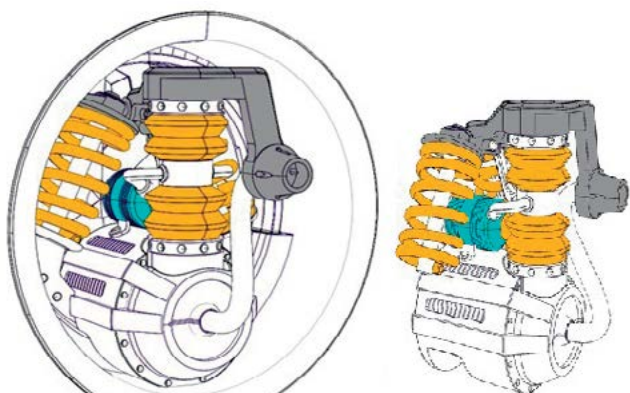


Рисунок 6. График изменения ударной нагрузки



Рисунок 7. Графики изменения энергий в процессе удара  
1 — полной энергии системы; 2 и 3 — кинетической и внутренней энергии модели

личающиеся только типом многослойных панелей. Исследовались кузова из следующих многослойных панелей (см. рис. 1):

- трёхслойной панели с наружной обшивкой из лакированного металла толщиной 0,45–0,5 мм и внутренней обшивкой из оцинкованного металла толщиной 0,6 мм;
- трёхслойной панели с обшивками из композитного материала с короткими армирующими волокнами;
- трёхслойной панели с наружной обшивкой из алюминия толщиной 1 мм и внутренней обшивкой из фанеры толщиной 4 мм;
- пятислойной панели. Обшивка сэндвич-панелей состоит из двух слоёв: композита с короткими армирующими волокнами толщиной 1 мм и фанеры толщиной 4 мм.

Во всех панелях в качестве заполнителя используется пенополистирол толщиной 50 мм, армированный фанерой толщиной 9 мм.

Моделирование осуществлялось в программном пакете LS-DYNA. При этом использовались различ-

ные типы материалов из библиотеки LS-DYNA: ортотропный материал (MATL59) для моделирования фанеры, упругопластический материал с произвольной зависимостью между напряжением и деформацией (MATL24) для задания металлов, материал для моделирования сильносжимаемых пеноматериалов низкой плотности (MATL57) и другие. Параметры используемых материалов получены по результатам экспериментальных исследований стандартных образцов материалов. Некоторые фрагменты испытаний приведены на рис. 2, а результаты — на графиках

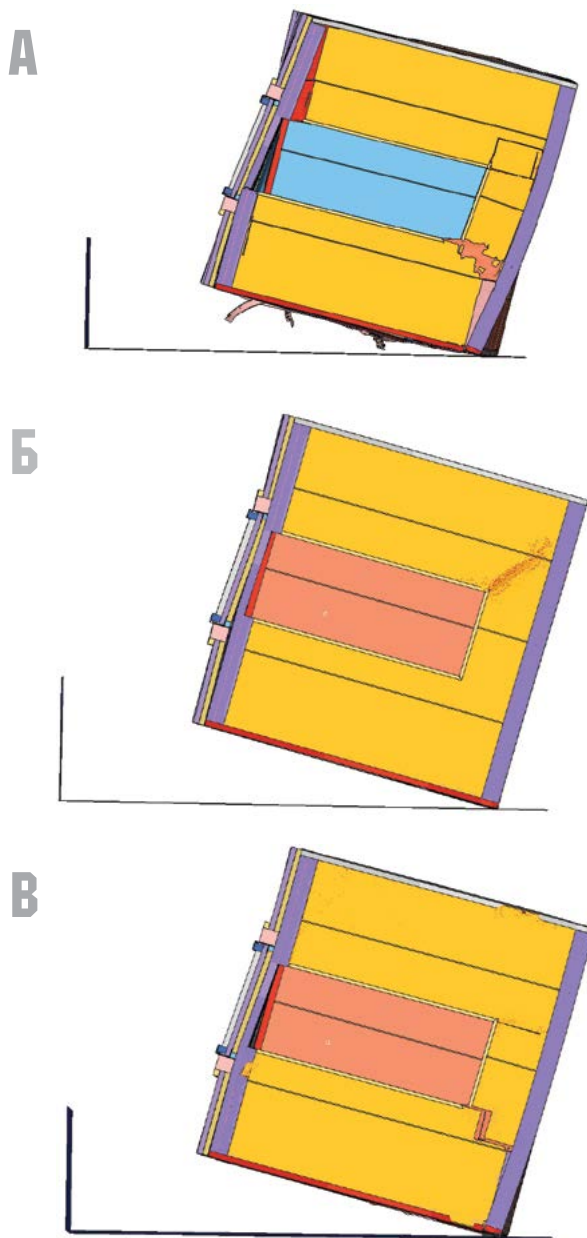


Рисунок 8. Деформированный вид моделей вариантов кузова:  
а — №2; б — №3; в — №4

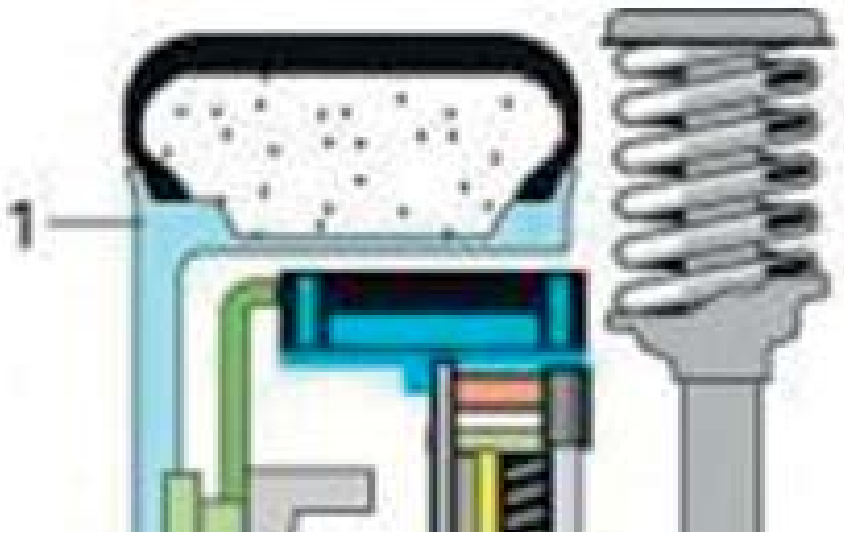


Рисунок 9. Графики изменения кинетической энергии: 1, 2, 3, 4 – для моделей 1, 2, 3, 4 соответственно

ках на рис. 3. При выполнении экспериментальных исследований использовалось научное оборудование ЦКП «Транспортные системы» НГТУ.

Конечно-элементная модель кузова исследуемого автобуса представлена на рис. 4. Разработанная подробная модель состоит более чем из 3 000 000 узлов и элементов.

Базовой модификацией является кузов с панелями варианта № 1. Результаты численного моделирования базового варианта сравниваются с результатами натурного эксперимента. Получена хорошая сходимость расчётов с экспериментом [4]. Результаты компьютерного моделирования опрокидывания вахтового автобуса базовой модификации показаны на рис. 5, 6 и 7.

Проведено сравнение результатов моделирования опрокидывания других модификаций с базовой конструкцией. Деформированные состояния моделей показаны на рис. 8, графики изменения кинетической энергии удара — на рис. 9.

Из графиков на рис. 9 видно, что конструкция из пятислойных панелей (вариант № 4) поглощает энергию удара за минимальное время. Затем следует график 1 базового варианта из трёхслойных панелей с металлическими обшивками, далее — график 3 для модификации из трёхслойных панелей с внешней алюминиевой обшивкой и внутренней из фанеры. Наибольшее время поглощения энергии имеет конструкция варианта 2 из трёхслойных панелей с композитными обшивками. С учётом того, что начальные скорости и кинетические энергии практически равны, время деформации свидетельствует об энергоёмкости конструкции. Из этого можно сделать вывод, что конструкция варианта № 4 (из пятислойных панелей) имеет наибольшую энергоёмкость. Необходимо отметить, что в конструкциях, имеющих

обшивки из хрупких материалов, отмечаются зоны разрушения панелей, что может вызвать при увеличении нагрузки полное их разрушение.

Таким образом, выполненные исследования и полученные результаты дают возможность прогнозировать пассивную безопасность разрабатываемых кузовов при применении тех или иных панелей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Журнал. Иванов, А.М. Анализ пассивной безопасности маломестных автобусов на основании статистики ДТП / А.М. Иванов, А.А. Никитин, Н.С. Харламов, С.Г. Зубрицкий // Журнал автомобильных инженеров — 2009. — № 2. — С. 27–30.
2. Журнал. Guler, M. A. The influence of seat structure and passenger weight on the rollover crashworthiness of an intercity coach / M. A. Guler; K. Elitok; B. Bayram; U. Stelzmann // International Journal of Crashworthiness Volume 12, Issue 6 — 2007. — Vol. 12. — Issue 6. — P. 567–580.
3. Журнал. Ким, И.В. Анализ экспериментальных методов оценки прочности силовой структуры транспортных средств категории М<sub>2</sub>, предусмотренных правилами ЕЭК ООН №66 и корректная постановка задачи математического моделирования / И.В. Ким, С.А. Морозов, Д.Г. Коробов, М.В. Льюров, С.С. Гусев // Журнал ААИ — 2010. — № 3. — С. 32–36.
4. Диссертация. Вашурин, А.С. Разработка методики и оценка пассивной безопасности кузовов из многослойных панелей вахтовых автобусов: дис. ... канд. тех. наук. 05.05.03/ НГТУ — Нижний Новгород, 2014. — 225 с.