

УДК 629.113

А.С. Вашурин, А.С. Волков, Д.И. Сизоненко, Л.Н. Орлов

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КУЗОВОВ ВАХТОВЫХ АВТОБУСОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ МНОГОСЛОЙНЫХ СЕНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты расчетно-экспериментальной оценки пассивной безопасности кузова вахтового автобуса, выполненного из многослойных панелей. Экспериментальные исследования выполнены в лаборатории Института транспортных систем с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Транспортные системы». Компьютерное моделирование конструкции и условий ударного нагружения выполнено в программных комплексах AltairHyperWorks (HyperMesh, HyperView) и LS Dyna.

Ключевые слова: вахтовый автобус, сэндвич-панели, моделирование, безопасность, опрокидывание.

Повышение пассивной безопасности автобусов является одной из важных задач при разработке новых конструкций или модернизации существующих. Пассивная безопасность автобуса в основном определяется конструкцией кузова, который должен обеспечивать сохранение остаточного жизненного пространства внутри салона. Известно, что оценка безопасности автобуса может проводиться как по результатам натурных экспериментальных исследований (опрокидывание с уступа), так и результатам компьютерного моделирования соответствующих условий аварийного нагружения [1, 2]. Среди существующих конструкций автобусов отдельную группу составляют вахтовые автобусы, состоящие из многослойных панелей и предназначенные к эксплуатации в различных природно-климатических условиях (в том числе в труднодоступных районах с высокими и низкими температурами) [3–6].

Известно, что оценку пассивной безопасности можно проводить экспериментальным путем, испытывая реальную конструкцию автобуса. Однако в случае неудовлетворительного результата возникнет необходимость в изменении конструкции и повторном испытании, что приведет к дополнительным временным и материальным затратам. С этой точки зрения целесообразным является использование современных методов расчета, позволяющих на начальных этапах проектирования выбрать рациональную силовую схему конструкции, определить геометрические характеристики сечений силовых элементов и дать предварительную оценку пассивной безопасности конструкции. Использование подробных расчетных моделей и алгоритмов нелинейного расчета (с учетом упругопластической характеристики материала) позволяет спрогнозировать прочностные свойства конструкции, а также доработать ее по результатам расчетов. В результате имеется возможность сокращения количества экспериментальных работ за счет увеличения объема расчетных исследований. В некоторых случаях компьютерное моделирование позволяет полностью отказаться от проведения экспериментальных исследований и оценивать конструкции только по результатам расчетов. Эффективность такого подхода подтверждается успешной практикой ведущих инженеринговых и проектных центров, осуществляющих исследовательские и конструкторские работы для предприятий автомобильной отрасли.

В данной работе представлены результаты оценки пассивной безопасности вахтового автобуса, выполненного из многослойных панелей, при опрокидывании в соответствии с правилами ЕЭК ООН №66.

Объектом исследования являлся вахтовый автобус на базе шасси ГАЗ-33081. Реальная модель кузова автобуса для проведения эксперимента и информация о конструктивных особенностях была получена от производителя. Остальные параметры автобуса приняты по ре-

зультатам аналитических расчетов, проведенных специалистами НГТУ. На рис. 1 показана конструкция кузова исследуемого транспортного средства, состоящая из стального каркаса, основания и многослойных сэндвич-панелей, из которых выполнены боковины, крыша, пол, а также передняя и задняя стенки.

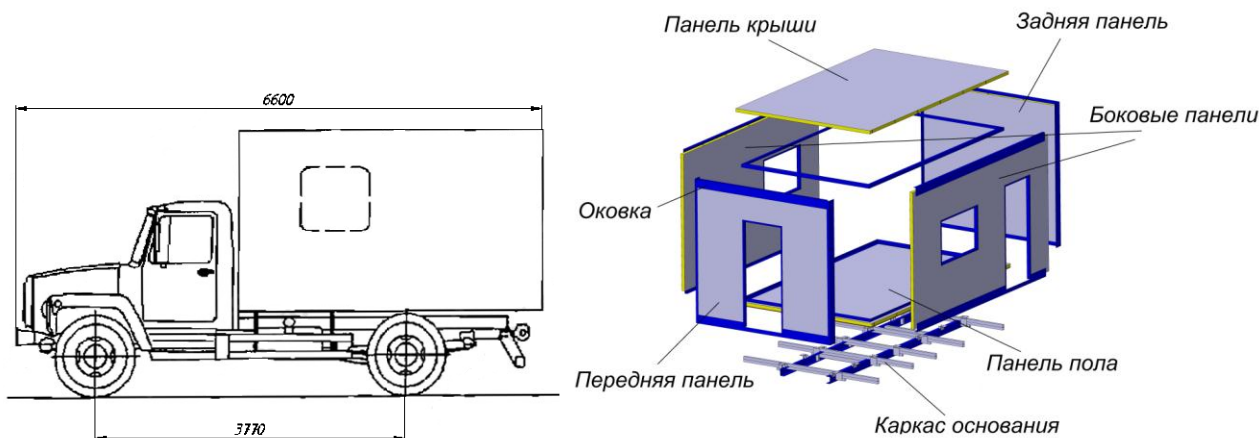


Рис. 1. Схема автобуса специального на базе шасси ГАЗ-33081 и его кузова

Расчетно-экспериментальную оценку пассивной безопасности кузова вахтового автобуса можно разделить на три основных этапа:

- 1) моделирование виртуальных испытаний;
- 2) экспериментальная оценка пассивной безопасности автобуса;
- 3) сравнительный анализ результатов. Выводы и рекомендации.

В рассматриваемой конструкции используются трехслойные сэндвич-панели, состоящие из внешней обшивки (стального листа толщиной 0,5 мм), внутренней обшивки (стального листа толщиной 0,5 мм) и заполнителя (армированный пенополистирол толщиной 50 мм). Все панели имеют деревянный каркас, выполненный из брусков с прямоугольным поперечным сечением 50х9 мм.

Каркас основания представляет собой сварную ферму из гнутых открытых профилей, изготовленных из листов различной толщины (от 1,5 до 7 мм). В рассматриваемых конструкциях используется несколько соединительных технологий:

- соединение с помощью отрывных заклепок, при этом соединение происходит через отбортовки алюминиевых листов панелей;
- соединение панелей со стальными уголками, расположенными внутри кузова, с помощью отрывных заклепок;
- соединение панелей с уголками, расположенными снаружи кузова, с помощью отрывных заклепок;
- болтовое и сварное (для связи металлических элементов) соединения.

Согласно требованиям нормативных документов Правил ЕЭК ООН №66, которые регламентируют прочность силовой структуры пассажирских одноэтажных транспортных средств (ТС), под силовой структурой подразумеваются несущие элементы ТС, которые обеспечивают сохранение остаточного жизненного пространства пассажирского салона ТС в случае его опрокидывания.

Испытание на опрокидывание проводят на комплектном ТС, соответствующем серийному ТС по массе, центру тяжести и распределению массы. В соответствии с методикой испытаний, ТС устанавливается на поворотную платформу. При этом разница между высотой расположения горизонтальной исходной плоскости поворотной платформы и горизонтальной нижней плоскости, на которой происходит удар, составляет 0,8 м. При определенном угле наклона площадки ТС начинает свободное падение под действием силы тяжести. После

удара в салоне автобуса должно сохраняться регламентированное остаточное жизненное пространство.

Согласно прил. 9 Правил ЕЭК ООН №66 «Компьютерное моделирование испытания на опрокидывание комплектного транспортного средства в качестве эквивалентного метода официального утверждения», допускается проводить оценку пассивной безопасности кузовной конструкции по результатам компьютерного моделирования условий опрокидывания с использованием подробных расчетных моделей и современного программного обеспечения.

Расчетная модель должна быть в состоянии описывать реальное физическое поведение силовой структуры в процессе опрокидывания. При этом модель должна быть разработана и связанные с ней предположения сформулированы таким образом, чтобы результаты расчетов являлись стабильными.

Разработанная конечно-элементная модель кузова исследуемого автобуса представлена на рис. 2 и состоит из 3 295 234 узлов и 3 953 844 элементов, из них:

- оболочечные типа SHELL (elform2), моделирующие уголки, наружную и внутреннюю обшивку кузова, – 1 572 076 (324 треугольных элемента, что составляет 0,02% от общего числа пластинчатых элементов);
- одномерные жесткие элементы типа Spotweld, моделирующие заклепочные соединения (CONSTRAINED_SPOTWELD) – 1 328;
- объемные элементы типа SOLID (elform1), моделирующие панели из пенополистирол – 2 204 208;
- объемные элементе типа SOLID (elform1), моделирующие деревянные рейки между панелями – 176 232.

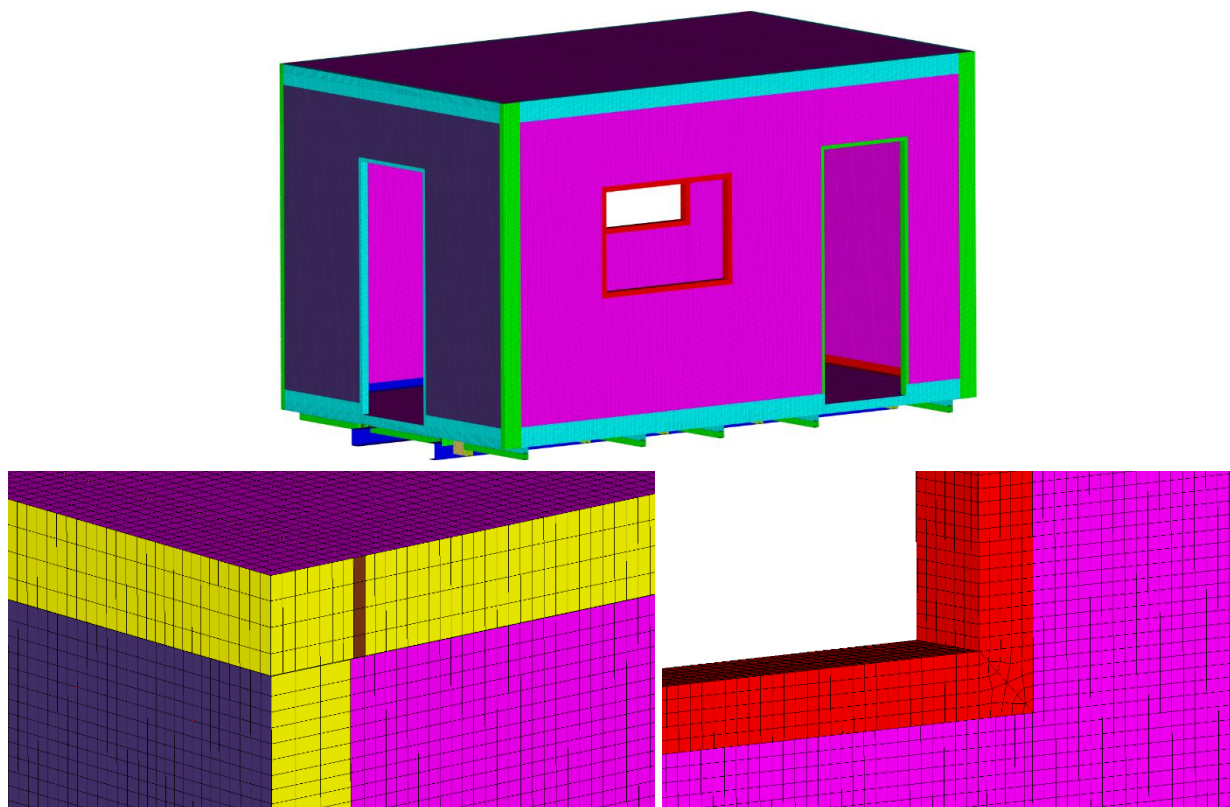


Рис. 2. Подробная конечно-элементная модель кузова вахтового автобуса и ее отдельные фрагменты

В расчете при компьютерном моделировании опрокидывание было заменено на эквивалентный режим нагружения неподвижного кузова жесткой плитой, совершающей враща-

тельное движение. Для этого на основе методики, изложенной в Правилах ЕЭК ООН №66, был выполнен расчет высоты центра тяжести автомобиля и энергии удара при опрокидывании. Особенности моделирования условий опрокидывания исследуемого вахтового автобуса на шасси ГАЗ-33081 заключаются в задании жесткой ударной плите таких характеристик, которые обеспечивают эквивалентность условиям опрокидывания конструкции с уступа и адекватное воспроизведение условий крепления кузова на раме базового ТС (рис. 3). Лонжероны каркаса основания лежат на лонжеронах рамы базового ТС, поэтому перемещения нижней полки швеллеров лонжеронов каркаса основания было ограничено по шести степеням свободы. Так как данная конструкция не имеет свеса кузова автобуса относительно рамы шасси в задней части, то закрепление по вертикальной оси было реализовано по всей длине лонжеронов каркаса основания кузова.

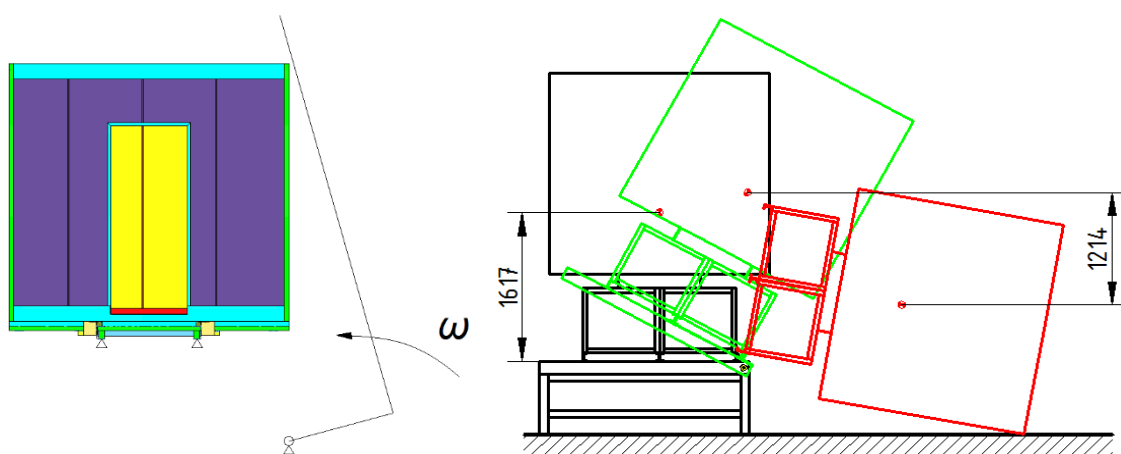


Рис. 3. Схемы нагружения модели вахтового автобуса и опрокидывания его с уступа высотой 0,8 м (в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №66)

С учетом основных положений прил. 5 Правил ЕЭК ООН №66 разработана методика проведения специальных испытаний. Ее специфика определяется поставленной целью – получения экспериментальных данных для проведения верификации разработанной конечно-элементной модели кузова вахтового автобуса. Методика предусматривает обеспечение условий проведения испытаний в соответствии с п. 2 прил. 5 Правил, то есть максимальное соответствие базовому методу опрокидывания автобуса.

Для воспроизведения кинематики опрокидывания кузов был установлен на специальную подставку с высотой, равной высоте верхней полки рамы базового шасси в снаряженном состоянии. Установка кузова на стенде показана на рис. 4.

При проведении специальных верификационных испытаний не воспроизводилась масса, регламентируемая Правилами ЕЭК ООН №66. Масса экспериментального кузова с балластом составила 1 993 кг. Этого было достаточно для получения необходимой картины и разрушения кузова, которая предварительно оценивалась по результатам расчетов.

По результатам расчета исходного варианта модели конструкции вахтового автобуса на базе шасси ГАЗ-33081 было установлено, что в процессе аварийного нагружения имеет место нарушение целостности конструкции (отрыв каркаса основания от панели пола). Таким образом, данная конструкция не отвечала требованиям пассивной безопасности, силовые элементы заходили в зону нормируемого остаточного жизненного пространства.

В связи с этим была разработана модификация каркаса основания, усиленная пятью поперечными трубами, приваренными к лонжеронам основания. По результатам расчета измененного варианта модели было установлено, что в процессе аварийного нагружения деформации панелей кузова и конструкции основания незначительные, отрыва корпуса основания от панели пола не наблюдается.

Следует отметить, что в ходе исследований была получена удовлетворительная схо-

димость результатов расчета и эксперимента. На рис. 5 видно, что механизмы разрушения и зоны разрушений модели и реального кузова совпадают. В модели и при эксперименте произошло разрушение задней панели в месте стыковки листов обшивки панели, одинаковые разрушения соединений задней панели с панелями пола и крыши. Таким образом, предложенные подходы и способы моделирования могут быть использованы при проведении расчетных оценок пассивной безопасности кузовов других вахтовых автобусов, выполненных из многослойных панелей.

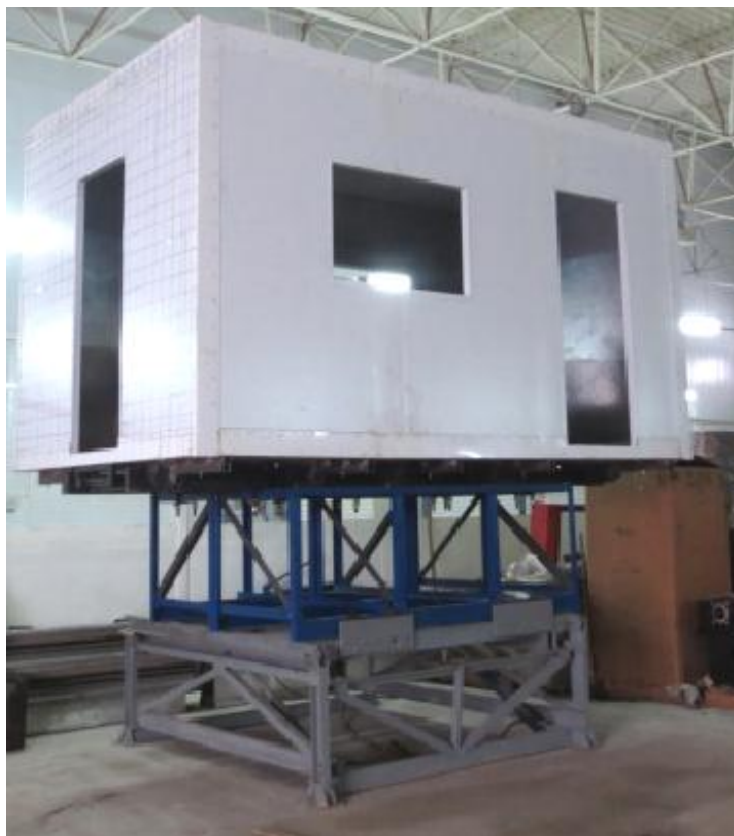
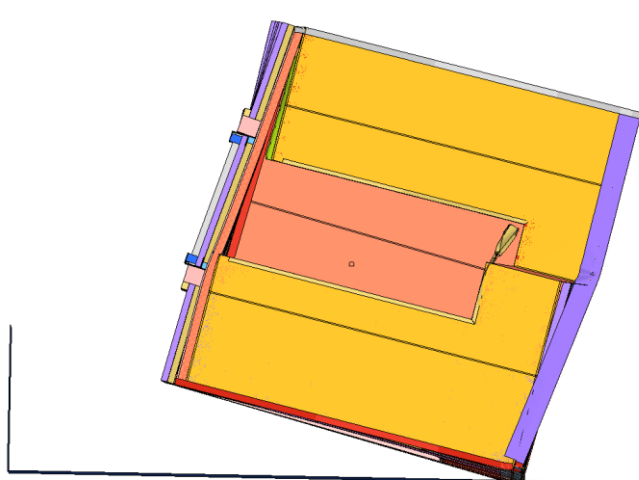
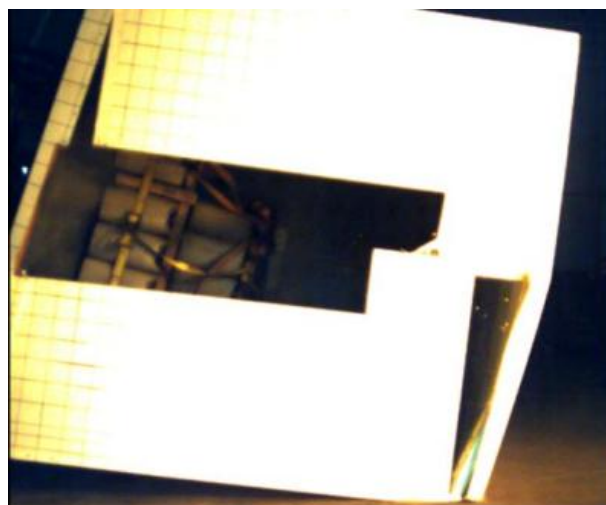


Рис. 4. Установка кузова вахтового автобуса на стенд – опрокидыватель



а)



б)

Рис. 5. Деформированное состояние кузова из многослойных панелей:
а – компьютерное моделирование; б – натурный эксперимент

В качестве дальнейшего развития рассматриваемой проблемы планируется проведение дополнительных исследований, направленных на повышение точности конечно-элементной модели и компьютерного моделирования условий опрокидывания. Предлагается использовать уточненные параметры материалов, из которых изготовлены детали кузова автобуса, полученные по результатам стендовых испытаний реальных образцов.

Библиографический список

1. Основы разработки конечно-элементных моделей кузовных конструкций автотранспортных средств. Расчеты на безопасность и прочность: учеб. пособие / Л.Н. Орлов [и др.]; под ред. Л.Н. Орлова; НГТУ им Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2009. – 153 с.
2. **Орлов, Л.Н.** Оценка пассивной безопасности, прочности кузовных конструкций автомобилей и автобусов: монография / Л.Н. Орлов; НГТУ им Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2005. – 230 с.
3. Расчетно-экспериментальная оценка прочности и пассивной безопасности кузова автобуса с трехслойными панелями / Л.Н. Орлов [и др.] // Журнал ААИ. 2011. №1. С. 20–22.
4. Определение характеристик многослойных панелей кузова автобуса / Л.Н. Орлов [и др.] // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2012. №1. С. 4–7.
5. **Вашурин, А.С.** Исследование несущей способности многослойных панелей / А.С. Вашурин, А.В. Герасин, Л.Н. Орлов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №1. С. 128–133.
6. Оценка несущей способности каркаса кузова автобуса по результатам компьютерного моделирования / Л.Н. Орлов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 3 (96). С. 150–156.

*Дата поступления
в редакцию 30.09.2014*

A.S. Vashurin, A.S. Volkov, D.I. Sizonenko, L.N. Orlov

CALCULATIVE-EXPERIMENTAL ESTIMATION OF PASSIVE SAFETY OF BUS BODIES MADE FROM MULTILAYER SANDWICH-PANELS

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

Purpose: Estimating of passive safety of bus body made from multilayer sandwich-panels in conditions that are regulated by ECE R66 on the basis of computer simulation results and its comparison with experimental data.

Design/methodology/approach: The simulation study based on nonlinear dynamic finite element method with using of LS Dyna software as well as testbench testing methodology.

Findings: It is possible to apply the research results for estimation of passive safety of bus body made from multilayer sandwich-panels in conditions of rollover at the initial stages of design as well as during certification tests.

Research limitations/implications: Present study provides a starting-point for development of methodology of improving of buses passive safety by means of effective design solutions as well as using of advanced software capabilities.

Originality/value: The main peculiarity of the study is using of advantages of simulation and real tests for predicting of passive safety of bus bodies made from multilayer sandwich-panels and analyzing of possible solutions for improving of passengers' safety.

Key words: shift bus, sandwich-panel, simulation, safety, rollover.