

УДК 629.113

# Расчетно-экспериментальная оценка пассивной безопасности кузова из многослойных панелей вахтового автобуса


**А.С. Вашурин, Л.Н. Орлов**

ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», 603950, Н.Новгород, Российская Федерация, ул. Минина, д. 24.

## Numerical and experimental evaluation of the passive safety of a crew bus body made of sandwich panels

**A.S. Vashurin, L.N. Orlov**

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

 e-mail: andreycgt@gmail.com, ait.ngtu@gmail.com

**i** Проблема снижения тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий — одна из важнейших. При этом особое внимание уделяется вопросам повышения пассивной безопасности автобусов и ее оценки. Правилами ЕЭК ООН №66 в качестве эквивалентного метода допускается проводить оценку кузовов автобусов по результатам компьютерного моделирования. Одним из наиболее перспективных направлений при разработке кузовных конструкций является использование многослойных панелей. Рассмотрена методика расчетно-экспериментальной оценки пассивной безопасности кузовов из многослойных панелей. Приведены результаты ее практической реализации. С целью обоснования правомерности выбора расчетных моделей проведены полномасштабные экспериментальные исследования по опрокидыванию целого кузова автобуса из многослойных панелей, а также отдельных участков, элементов. Экспериментально получены характеристики материалов, из которых состоит многослойная панель. Выполнена оценка результатов расчетов в сравнении с данными проведенных экспериментов, подтверждающая их удовлетворительную сходимость.

**Ключевые слова:** пассивная безопасность, автобус, опрокидывание, многослойные панели, компьютерное моделирование.

**i** Reducing the severity of road traffic accidents (RTA) is one of the most important problems. Particular attention is paid to improving and evaluating the passive safety of buses. According to UN-ECE Regulation No. 66, the passive safety can be evaluated on the basis of computer simulation. One of the most promising trends in the development of body structures is the use of sandwich panels. In this paper, a computational-experimental technique for evaluating the passive safety of sandwich panel bodies is considered. The results of its implementation are presented. To prove the validity of the numerical models, full-scale experimental studies of the overturning of the entire bus body made of sandwich panels, as well as individual sections and elements, are performed. The properties of the materials used for manufacturing sandwich panels are determined experimentally. The results of calculations are in good agreement with the experimental data.

**Keywords:** passive safety, bus rollover, sandwich panels, computer simulation.

Проблема повышения безопасности на дорогах — одна из актуальнейших. В среднем в Российской Федерации происходит около 200 000 ДТП за год, в которых гибнет более 25 000, и получают ранения около 250 000 человек. С участием автобусов происходит около 10 000 происшествий или 5 % общего их числа, однако среди ДТП с особо тяжкими последствиями аварии с участием автобусов занимают около 30 % [1].

Снижение тяжести последствий ДТП во многом зависит от уровня пассивной безопасности транспортного средства. Поэтому проблемой повышения пассивной безопасности автобусов занимаются многие ученые как в России, так и за рубежом, например, В.Н. Зузов, И.В. Ким, М.В. Лыжуров, Ю.Ф. Благодарный [2–5]. Из зарубежных исследователей можно отметить работы Vincze-Pap Sándor [6], в которых приведены результаты натурных испытаний по опрокидыванию автобусов Ikarus, а также работы, проводимые под руководством Wekezer [7–9]. Практический интерес представляют работы М.А. Guler [10], посвященные оценке пассивной безопасности подробной модели туристического автобуса с кузовом

классической конструкции с использованием программы LS-Dyna.

Требования пассивной безопасности автобусов (касающиеся прочности верхней части силовой структуры при опрокидывании автобуса с уступа высотой 0,8 м) регламентируют Правила ЕЭК ООН №66-02. При этом в салоне должно сохраняться регламентированное остаточное жизненное пространство. Приложение 9 данных Правил допускает проводить оценку пассивной безопасности по результатам компьютерного моделирования при условии обеспечения адекватности расчетной модели реальной конструкции и условий опрокидывания. В настоящее время получают распространение расчетно-экспериментальные методы [7–10], сочетающие в себе преимущества как экспериментальных, так и расчетных методов. Такие исследования проводятся и на кафедре «Автомобили и тракторы» НГТУ им. Р.Е. Алексеева [11, 12].

Одна из задач при проектировании новых автобусов — снижение его массы при сохранении или улучшении жесткостных и прочностных характеристик, а также параметров пассивной безопасности. В этой связи перспективным направлением при разработке кузовных кон-



Рис. 1. Блок-схема методики расчетно-экспериментальной оценки пассивной безопасности кузовов из многослойных панелей автобусов: КЭМ — конечно-элементарная модель

струкций является использование многослойных панелей [13]. В настоящее время в России применение трехслойных конструкций получило широкое распространение при производстве вахтовых автобусов на шасси грузовых автомобилей. Вопросы оценки пассивной безопасности кузовов из многослойных панелей в отечественной и зарубежной литературе освещены недостаточно. Одной из немногих является работа корейских ученых [14].

Цель работы — разработка методики расчетно-экспериментальной оценки пассивной безопасности автобусов с кузовами из многослойных панелей, блок-схема которой показана на рис. 1 [15]. Особенностью данной методики является то, что в ней предусмотрена возможность моделирования свойств реальных панелей. Компьютерное моделирование предполагает использование современных программных комплексов, основанных на методе конечных элементов.

В соответствии с разработанной методикой сначала проводится анализ исследуемой конструкции кузова автобуса, затем — определение и задание в расчетной модели характеристик материалов. Далее исследуются характеристики и способ моделирования многослойных панелей. Большое влияние на пассивную безопасность таких кузовов оказывает способ соединения панелей между собой, поэтому на следующем этапе анализируются способы моделирования крепежных элементов и обосновывается выбор расчетной модели, например, характерного участка кузова, содержащего все основные конструктивные элементы. При этом обосновываются основные принципы и подходы, применяемые при разработке КЭМ кузова, проверяет-

ся совместная работа отдельных элементов. Получив удовлетворительные результаты, можно перейти к моделированию всего кузова; заданию граничных условий, аварийной нагрузки; параметров расчета и непосредственно к расчету. При моделировании аварийного условия нагружения автобуса для получения достоверных результатов необходимо правильно выбрать внешнее закрепление модели кузова, воспроизвести режим его нагружения в соответствии с требованиями Правил.

Рассмотрим результаты практической реализации методики на примере оценки пассивной безопасности кузова вахтового автобуса из многослойных панелей. Для расчетов на пассивную безопасность в программах, основанных на методе конечных элементов, должны быть известны реальные упруго-пластические характеристики материалов, получаемые экспериментально. Для разных материалов требуется проведение различного числа испытаний. Например, для изотропных материалов, таких как сталь или алюминий, используемых в качестве обшивок многослойных панелей, достаточно проведения испытания при одноосном растяжении или трехточечном изгибе. В качестве заполнителя в многослойных панелях используются пеноматериалы, которые по-разному ведут себя при растяжении и сжатии. Поэтому их следует испытывать в условиях растяжения, сжатия и изгиба. Полученные результаты необходимо проверять путем их сравнения с данными компьютерного моделирования. Результаты экспериментально-расчетных исследований по определению и заданию в расчетной модели характеристик композитного материала и пенополистирола приведены на рис. 2 и 3.

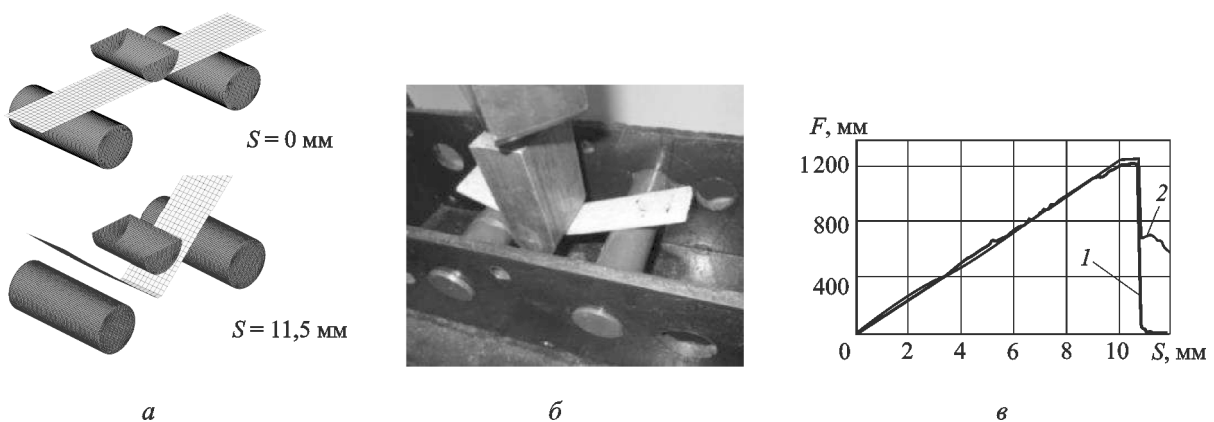
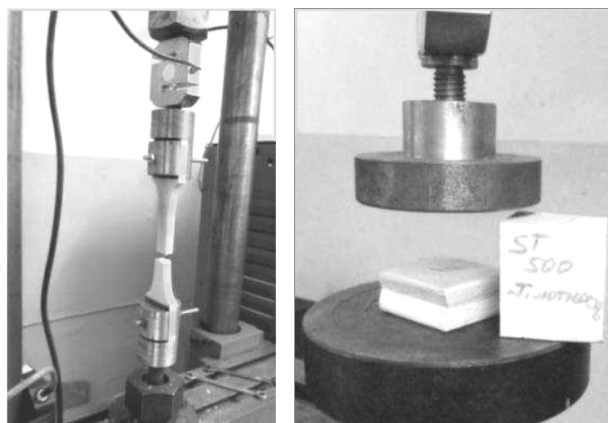


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования и испытания образца композитного материала в условиях действия изгибной нагрузки:

*a* — КЭМ образца в исходном и деформированном состоянии; *б* — фрагмент испытаний; *в* — кривые изменения вертикальной нагрузки  $F$  от вертикального перемещения  $S$ ; 1 — расчет; 2 — эксперимент



*a* *б*

Рис. 3. Фрагменты испытаний образцов из пенополистирола:

*a* — при одноосном растяжении; *б* — при сжатии

Для оценки правомерности задаваемых параметров расчетных моделей композитного материала с длинными армирующими волокнами в расчетах воспроизводились условия экспериментальных исследований и оценивалось поведение образца под нагрузкой. Для моделирования композита с длинными армирующими волокнами в программе LS-DYNA использовался материал типа Plastic-kinematic со следующими параметрами, полученными экспериментально (рис. 2, б):  $E = 12\ 860$  МПа;  $\nu = 0,14$ ;  $\sigma_r = 335$  МПа; максимально возможная относительная деформация до разрушения  $\epsilon_{max} = 0,0268$ .

Хорошее совпадение результатов (рис. 2, в) свидетельствует о том, что заданные характеристики позволяют адекватно симитировать упруго-пластические свойства данного композита с учетом его возможного разрушения.

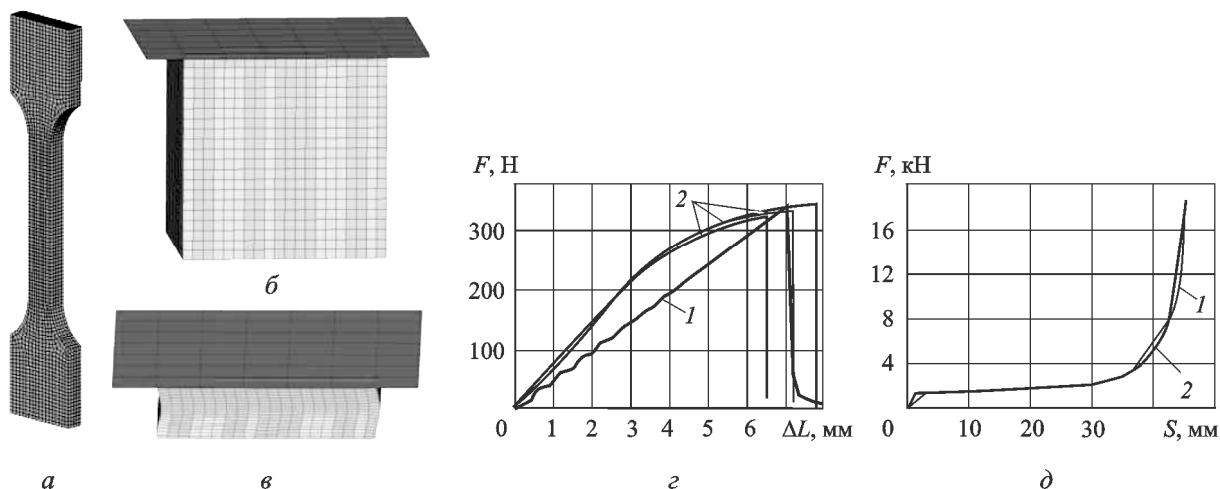
При моделировании пенополистирола использовалась карточка материала MATL57, описывающая поведение сильносжимаемого пеноматериала низкой плотности. Были заданы следующие параметры, полученные по результатам экспериментальных исследований, фрагменты которых показаны на рис. 3:  $E = 26$  МПа,  $\rho = 5 \cdot 10^{-10}$  т/мм<sup>3</sup>, предельное напряжение при растяжении 0,9, коэффициент гистерезиса при разгрузке  $HU = 0,1$ , коэффициент вязкости  $DAMP = 0,5$ , коэффициент формы при разгрузке  $SHAPE = 25$ , признак разрушения при достижении ограничения  $FAIL = 1$ , коэффициент жесткости на контактной границе  $KCON = 400$ .

Результаты расчетно-экспериментальных исследований приведены на рис. 4.

Многослойные панели можно моделировать конечными элементами разными способами, с различной степенью детализации и с разными допущениями, например:

- 1) оболочечных и объемных элементов, соединенных «узел в узел» с помощью;
- 2) оболочечных и объемных элементов, соединенных связанным контактом, моделирующим клеевое соединение между слоями панели;
- 3) только оболочечных элементов, которым задано свойство многослойной оболочки.

С целью обоснования способов компьютерного моделирования многослойных панелей и выбора наиболее рационального варианта проведены исследования этих трех способов при различных условиях нагружения: испытание на трехточечный изгиб, сдвиг и консольное нагружение. Для всех моделей были воспроизведены режимы нагружения, аналогичные экспериментальным исследованиям. Деформирован-



*a*

*б*

*в*

*д*

Рис. 4. Результаты компьютерного моделирования и испытаний образцов из пенополистирола: *a, б* — КЭМ в исходном состоянии; *в* — КЭМ в деформированном состоянии; *в* — зависимость усилия от перемещения при растяжении; *д* — зависимость усилия от перемещения при сжатии; 1 — эксперимент; 2 — расчет

ные виды этих КЭМ и кривые изменения нагрузки в условиях трехточечного изгиба приведены на рис. 5.

Аналогичные исследования проведены в условиях сдвига и консольного нагружения. На рис. 5, *г* видно, что наименьшее расхождение с экспериментальными значениями получено у модели № 1, наибольшее расхождение имеет модель № 3.

Важным при проведении расчетных исследований является выбор способов моделирования крепежных элементов. В кузовах из многослойных панелей используются следующие соединения: клеевое, заклепочное, болтовое и с помощью шурупов. Все они были подвергнуты испытаниям, по результатам которых были получены соответствующие характеристики, которые использовались для задания параметров

соединительных элементов в расчетных моделях. В расчетной модели болтовые соединения моделировались элементами типа BEAM. Заклепки представлялись с помощью одномерных разрывных элементов типа WELD со значением разрывного усилия, полученным при эксперименте. Шурупы моделировались с помощью двух типов элементов: разрывных одномерных элементов типа WELD и одномерных балочных элементов типа BEAM. Клеевое соединение имитировалось специальным связанным контактом с возможностью его разрушения (\*CONTACT\_AUTOMATIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_TIEBREAK\_ID из библиотеки LS-DYNA).

По результатам, полученным после выполнения первых трех этапов методики, обосновывается правомерность выбора расчетной моде-

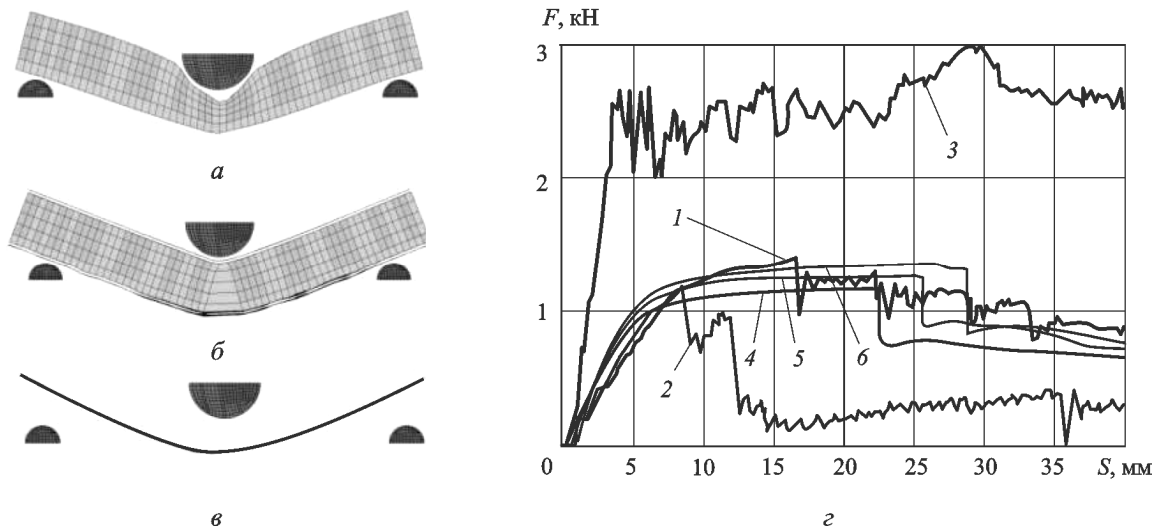


Рис. 5. Деформированные виды КЭМ (а-в); зависимость вертикальной нагрузки от перемещения (г): 1-3 — модели; 4-6 — результаты экспериментов

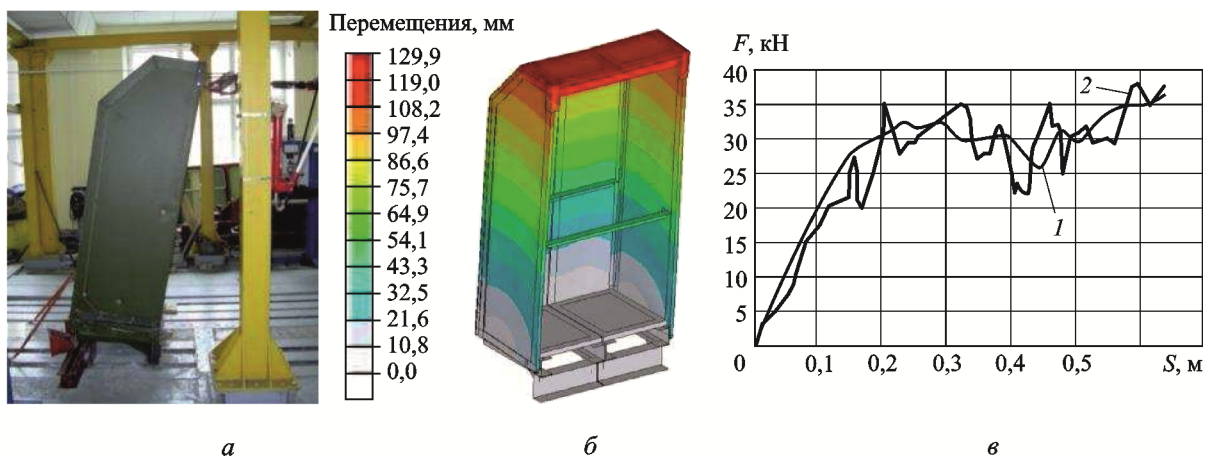


Рис. 6. Результаты исследований характерных участков кузова: а — фрагмент испытаний; б — напряженно-деформированное состояние расчетной модели; в — зависимость нагрузки от деформации; 1 — расчет; 2 — эксперимент  
(Полноцветную версию см. <http://www.izvuzmash.bmstu.ru>)

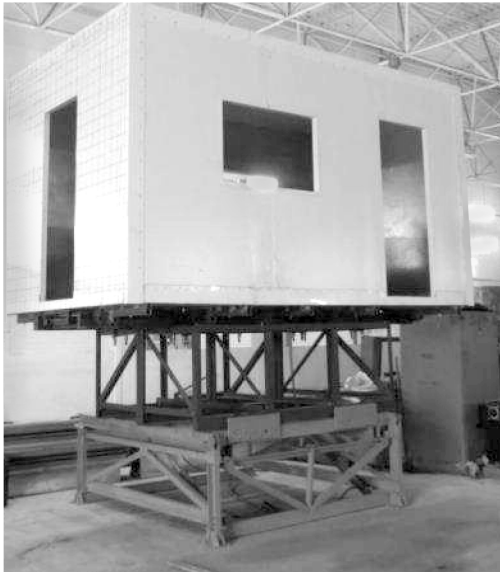


Рис. 7. Установка кузова вахтового автобуса на стенде-опрокидывателе

ли всего кузова автобуса. Это можно сделать на примере его характерных участков, например, углов кузова (рис. 6). По полученным результатам нагружения этих участков и воспроизведения аналогичной нагрузки при моделировании были построены зависимости изменения силы нагружения от перемещения места ее приложения (рис. 6, в).

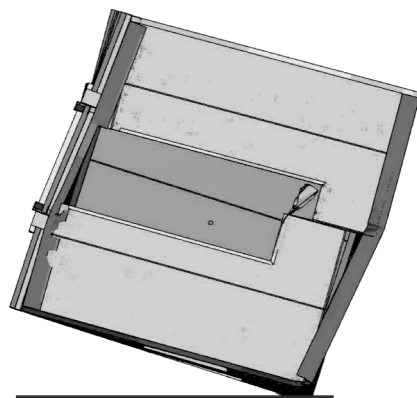
На рис. 6, в видно, что расчетная кривая согласуется с экспериментальной. Расчетное значение энергоемкости конструкции составляет  $E_k = 18,39$  кДж (площадь под кривыми), а экспериментальное —  $E_k = 16,13$  кДж. Разница результатов не превышает 14 %, что является приемлемым. Следовательно, разработанная подробная КЭМ адекватно отражает характер поведения реальной конструкции, обеспечивает получение

достоверных результатов расчета, а рассмотренные приемы и методы можно использовать при моделировании условий опрокидывания целого кузова автобуса из многослойных панелей.

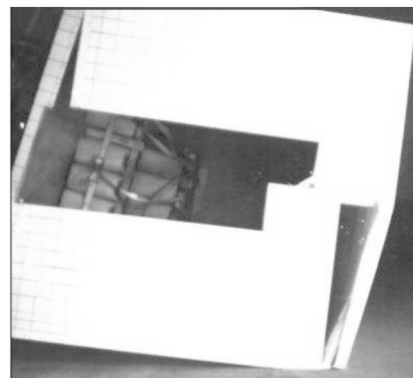
Для расчетной оценки несущей способности кузова была разработана подробная КЭМ, состоящая из более 3 000 000 узлов и элементов. Модели материалов и характеристики соединительных элементов задавались по результатам расчетно-экспериментальных исследований, полученным на предыдущих этапах.

С целью подтверждения полученных результатов и апробации разработанной методики были также проведены экспериментальные исследования всего кузова. Испытания проводились в научно-исследовательской лаборатории НГТУ им. Р.Е. Алексеева на специально разработанном стенде-опрокидывателе [16] с использованием измерительной аппаратуры ЦКП «Транспортные системы». Для воспроизведения кинематики опрокидывания кузовов был установлен на специальную подставку высотой, равной положению верхней полки рамы базового шасси в снаряженном состоянии. Установка кузова на стенде показана на рис. 7.

Для сравнения результатов расчета и эксперимента на рис. 8 показаны деформированные состояния модели и реального кузова в момент максимальной деформации. Получена удовлетворительная сходимость результатов расчета с экспериментом. На рис. 8 видно, что механизмы разрушения и зоны разрушений модели и реального кузова совпадают. При моделировании и эксперименте произошло разрушение задней панели в месте стыковки листов обшивки панели. Наблюдаются одинаковые разрушения соединений задней панели с панелями пола и крыши. Все это подтверж-



а



б

Рис. 8. Деформированное состояние кузова из многослойных панелей: а — по результатам компьютерного моделирования; б — при натурном эксперименте

дает обоснованность применения разработанных моделей.

Таким образом, полученные результаты имеют практическое значение, а предложенные подходы и способы моделирования могут быть использованы при проведении расчетных оценок пассивной безопасности кузовов из многослойных панелей вахтовых автобусов.

## Выводы

1. Разработана методика расчетно-экспериментальной оценки пассивной безопасности кузовов из многослойных панелей вахтовых авто-

бусов на основе компьютерного моделирования условий аварийного нагружения при опрокидывании.

2. Проанализированы особенности представления многослойных панелей в рассматриваемых кузовах. Наиболее рационально моделировать наружную и внутреннюю обшивки оболочечными, а наполнитель — объемными элементами.

3. Экспериментально получены характеристики материалов многослойной панели.

4. Дана сравнительная оценка результатов моделирования и экспериментов.

## Литература

- [1] Иванов А.М., Никитин А.А., Харламов Н.С., Зубрицкий С.Г. Анализ пассивной безопасности маломестных автобусов на основании статистики ДТП. *Журнал автомобильных инженеров*, 2009, № 2, с. 27–30.
- [2] Ким И.В., Морозов С.А., Коробов Д.Г., Льюров М.В., Гусев С.С. Анализ экспериментальных методов оценки прочности силовой структуры транспортных средств категории М3, предусмотренных правилами ЕЭК ООН № 66 и корректная постановка задачи математического моделирования. *Журнал автомобильных инженеров*, 2010, № 3, с. 32–36.
- [3] Ким И.В., Зузов В.Н. Оценка прочности силовой структуры кузовов автобусов методами математического моделирования. Ч. 1. *Журнал автомобильных инженеров*, 2008, № 5, с. 30–31.
- [4] Ким И.В., Зузов В.Н. Оценка прочности силовой структуры кузовов автобусов методами математического моделирования. Ч. 2. *Журнал автомобильных инженеров*, 2008, № 6, с. 40–41.
- [5] Благодарный Ю.Ф., Никульников Э.Н. Оценка пассивной безопасности автобуса при его опрокидывании. *Автомобильная промышленность*, 2009, № 9, с. 11–13.
- [6] Sándor Vincze-Pap. *Bus collision resistance testing and test methods, especially the rollover safety, the framework structures and zones of ductile wrists*. Dis. Ph. D. Budapest, 2008. 72 p.
- [7] Bojanowski C., Wekezer J., Kwasniewski L., Kownacki J. Florida standard for crashworthiness and safety evaluation of paratransit buses. *The 21<sup>st</sup> International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Stuttgart, Germany, 2009, paper 09-0261. 14 p.
- [8] Bojanowski C. *Verification. Validation and Optimization Finite Element Model of bus for rollover*. Dis. Doctor of Philosophy. USA, 2009. 199 p.
- [9] Horstemeyer M.F., Siervogel J., Kwasniewski L., Wekezer J., Christiana B., Roufa G. Material and structural crashworthiness characterization of paratransit buses. *International Journal of Crashworthiness*, 2007, vol. 12, issue 5, pp. 509–520. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13588260701483680?journalCode=tcrs20#U-DtDmO2W9Y> (дата обращения 23 июля 2014).
- [10] Guler M.A., Elitok K., Bayram B., Stelzmann U. The influence of seat structure and passenger weight on the rollover crashworthiness of an intercity coach. *International Journal of Crashworthiness*, 2007, vol. 12, issue 6, pp. 567–580. URL: [http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13588260701485297#.U9ts9uN\\_uHg](http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13588260701485297#.U9ts9uN_uHg) (дата обращения 23 июля 2014).
- [11] Орлов Л.Н. *Пассивная безопасность и прочность кузовов, кабин, автотранспортных средств. Методы расчета и оценки*. Н.Новгород, НГТУ, 2005. 130 с.
- [12] Орлов Л.Н., Тумасов А.В., Герасин А.В. Расчетно-экспериментальная оценка пассивной безопасности кузова автобуса. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион*, 2013, № 3(27), с. 210–218.
- [13] Воронков О.В., Песков В.И., Хорычев А.А. *Новое в конструкции и проектировании автобусных кузовов*. Н.Новгород, Нижегородский государственный технический университет, 2009. 185 с.



- [14] Ко Н.-Y., Shin К.-В., Jeon К.-W., Cho S.-H. A study on the crashworthiness and rollover characteristics of low-floor bus made of sandwich composites. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2009, vol. 23, issue 10, pp. 2686–2693.
- [15] Вашурин А.С. *Разработка методики и оценка пассивной безопасности кузовов из многослойных панелей вахтовых автобусов*. Дис. ... канд. тех. наук. Н.Новгород, 2014. 225 с.
- [16] Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Орлов Л.Н., Тумасов А.В., Вашурин А.С., Рогов П.С., Герасин А.В. *Стенд-опрокидыватель для оценки пассивной безопасности кузовов автотранспортных средств*. Патент РФ № 134870 МПК В60Т, заявл. 27.06.2013; опубл. 27.11.2013.

## References

- [1] Ivanov A.M., Nikitin A.A., Kharlamov N.S., Zubris'kii S.G. Analiz passivnoi bezopasnosti malomestnykh avtobusov na osnovanii statistiki DTP [The analysis of passive safety small buses on the basis of statistics of road accidents]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2009, no. 2, pp. 27–30.
- [2] Kim I.V., Morozov S.A., Korobov D.G., Lyuiurov M.V., Gusev S.S. Analiz eksperimental'nykh metodov otsenki prochnosti silovoi struktury transportnykh sredstv kategorii M3, predusmotrennykh pravilami EEK OON № 66 i korrektnaia postanovka zadachi matematicheskogo modelirovaniia [The analysis of experimental methods to assess the strength of the power structures of vehicles of category M3, stipulated by the ECE Regulations № 66 and correct statement of a task of mathematical modeling]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2010, no. 3, pp. 32–36.
- [3] Kim I.V., Zuzov V.N. Otsenka prochnosti silovoi struktury kuzovov avtobusov metodami matematicheskogo modelirovaniia (chast' 1) [Estimation of durability of the power structures of the bodies of buses methods of mathematical modeling (part 1)]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2008, no. 5, pp. 30–31.
- [4] Kim I.V., Zuzov V.N. Otsenka prochnosti silovoi struktury kuzovov avtobusov metodami matematicheskogo modelirovaniia (chast' 2) [Estimation of durability of the power structures of the bodies of buses methods of mathematical modeling (part 1)]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2008, no. 6, pp. 40–41.
- [5] Blagodarnyi Iu.F., Nikul'nikov E.N. Otsenka passivnoi bezopasnosti avtobusa pri ego oprokidyvanii [Evaluation of passive safety of a bus in the event of its tipping over]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [Automotive industry]. 2009, no. 9, pp. 11–13.
- [6] Sándor Vincze-Pap. *Bus collision resistance testing and test methods, especially the rollover safety, the framework structures and zones of ductile wrists*. Dis. Ph. D. Budapest, 2008. 72 p.
- [7] Bojanowski C., Wekezer J., Kwasniewski L., Kownacki J. Florida standard for crashworthiness and safety evaluation of paratransit buses. *The 21<sup>th</sup> International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Stuttgart, Germany, 2009, paper 09-0261. 14 p.
- [8] Bojanowski C. *Verification. Validation and Optimization Finite Element Model of bus for rollover*. Dis. Doctor of Philosophy. USA, 2009. 199 p.
- [9] Horstemeyer M.F., Siervogel J., Kwasniewski L., Wekezer J., Christiana B., Roufa G. Material and structural crashworthiness characterization of paratransit buses. *International Journal of Crashworthiness*, 2007, vol. 12, issue 5, pp. 509–520. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13588260701483680?journalCode=tcrs20#U-DtDmO2W9Y> (accessed 23 July 2014).
- [10] Guler M.A., Elitok K., Bayram B., Stelzmann U. The influence of seat structure and passenger weight on the rollover crashworthiness of an intercity coach. *International Journal of Crashworthiness*, 2007, vol. 12, issue 6, pp. 567–580. Available at: [http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13588260701485297#.U9ts9uN\\_uHg](http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13588260701485297#.U9ts9uN_uHg) (accessed 23 July 2014).
- [11] Orlov L.N. *Passivnaia bezopasnost' i prochnost' kuzovov, kabin, avtotransportnykh sredstv. Metody rascheta i otsenki* [Passive safety and durability of bodies, cabins, vehicles. Methods of calculation and assessment]. N. Novgorod, NGTU publ., 2005. 130 p.
- [12] Orlov L.N., Tumasov A.V., Gerasin A.V. Raschetno-eksperimental'naia otsenka passivnoi bezopasnosti kuzova avtobusa [Experiment-calculated assessment of bus body passive safety]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region* [News of higher education institutions. Volga Region]. 2013, no. 3(27), pp. 210–218.



- [13] Voronkov O.V., Peskov V.I., Khorychev A.A. *Novoe v konstruktsii i proektirovanii avtobusnykh kuzovov* [New in design and engineering of bus bodies]. N.Novgorod, Nizhny Novgorod State Technical University publ., 2009. 185 p.
- [14] Ko H.-Y., Shin K.-B., Jeon K.-W., Cho S.-H. A study on the crashworthiness and rollover characteristics of low-floor bus made of sandwich composites. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2009, vol. 23, issue 10, pp. 2686–2693.
- [15] Vashurin A.S. *Razrabotka metodiki i otsenka passivnoi bezopasnosti kuzovov iz mnogoslainnykh panelei vakhtovykh avtobusov*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of methodology and the assessment of passive safety bodies of the sandwich panels buses. Cand. of tech. sci. diss.]. N.Novgorod, 2014. 225 p.
- [16] Makarov V.S., Zeziulin D.V., Orlov L.N., Tumasov A.V., Vashurin A.S., Rogov P.S., Gerasin A.V. *Stend-oprokiyvatel' dlia otsenki passivnoi bezopasnosti kuzovov avtotransportnykh sredstv* [Tilt table to evaluate the passive safety body vehicles]. Patent RF no. 134870 MPK B60T, 2013.

Статья поступила в редакцию 04.06.2014

## Информация об авторах

**ВАШУРИН Андрей Сергеевич** (Нижний Новгород) — старший преподаватель кафедры «Автомобили и тракторы». ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (603950, Н.Новгород, Российская Федерация, ул. Минина, д. 24, e-mail: andreycgt@gmail.com).

**ОРЛОВ Лев Николаевич** (Нижний Новгород) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Автомобили и тракторы». ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (603950, Н.Новгород, Российская Федерация, ул. Минина, д. 24, e-mail: ait.ngtu@gmail.com).

## Information about the authors

**VASHURIN Andrey Sergeevich** (Nizhny Novgorod) — Senior Lecturer of «Automobiles and Tractors» Department. Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NSTU, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: andreycgt@gmail.com).

**ORLOV Lev Nikolaevich** (Nizhny Novgorod) — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of «Automobiles and Tractors» Department. Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NSTU, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: ait.ngtu@gmail.com).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана

вышел в свет учебник

**И.Ф. Кобылкина, В.В. Селиванова**

### «Материалы и структуры легкой бронезащиты»

Рассмотрен комплекс вопросов, связанных с баллистической стойкостью материалов и защитных структур, предназначенных для индивидуальной и локальной бронезащиты от воздействия высокоскоростных пуль и осколков. Приведены физические и математические модели процессов высокоскоростного взаимодействия пуль и осколков с различными типами бронепреград. Изложены современные представления о механизмах забронированного действия баллистического удара пуль.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru