

УДК 629.113

**А. С. Вашурин**, соискатель, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева  
**А. В. Герасин**, аспирант, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева  
**Л. Н. Орлов**, доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева  
**А. В. Тумасов**, кандидат технических наук, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева  
**К. С. Ившин**, кандидат технических наук, доцент, Удмуртский государственный университет, Ижевск

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ КУЗОВА АВТОБУСА

*Приведены результаты испытаний компонентов, образцов сэндвич-панелей и соединительных элементов, используемых в кузовных конструкциях автобусов, характеризующихся высокой прочностью при относительно малой массе.*

**Ключевые слова:** многослойная панель, сэндвич-панель, пассивная безопасность, испытание, изгиб, нагружение, кузов.

Исследования проводились с целью определения характеристик, необходимых для их задания элементов при формировании подробных моделей в расчетах кузовов на пассивную безопасность. Оценка пассивной безопасности кузовов в соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 66 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения крупногабаритных пассажирских транспортных средств в отношении прочности верхней части их конструкции» предусматривает применение расчетных методов. Расчетная оценка на основе компьютерного моделирования предполагает использование конечно-элементной модели кузова, максимально учитывающей все особенности конструкции (массово-габаритные параметры, характеристики материалов, способы соединения элементов конструкции и др.) [1]. Находят применение также расчетно-экспериментальные методы оценки пассивной безопасности транспортных средств, при которых результаты натурных испытаний отдельных секций используются при разработке конечно-элементной модели кузова и выполнении расчетов [2, 3].

В настоящее время при производстве фургонов и вахтовых автобусов на шасси грузовых автомобилей получили распространение кузовные конструкции из многослойных панелей (сэндвич-панелей). Такие конструкции обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими металлоконструкциями. Они представляют собой объемные композиции из листов обшивки и расположенного между ними наполнителя. Поэтому при выполнении расчетов требуется иметь данные по каждому используемому материалу, а также характеристики соединений панелей и их слоев, полученные по результатам натурных испытаний.

В работе исследовались трехслойные панели, имеющие наружный слой из алюминиевого листа толщиной 1 мм, а внутренний слой – из фанеры толщиной 3...4 мм. Наполнитель выполнен из армированного пенополистирола толщиной 26 мм, окантованного по периметру деревянным каркасом из брусков с прямоугольным поперечным сечением (26 × 50 мм). Вначале определялись характеристики отдельных материалов, из которых состоит панель. Затем испытанию подвергались образцы панелей в целом.

Определение характеристик проводилось в условиях изгибного нагружения образцов (рис. 1). При этом нагрузка прикладывалась в двух плоскостях. В каждом направлении проводилось как минимум по три испытания. Образец устанавливался на цилиндрические опоры, лишенные относительно проскальзывания. Для регистрации нагрузки применялся динамометр, а для определения перемещений использовались штангенциркуль и индикатор часового типа на специальной подставке. Фрагменты проведения испытания деревянных образцов показаны на рис. 2.

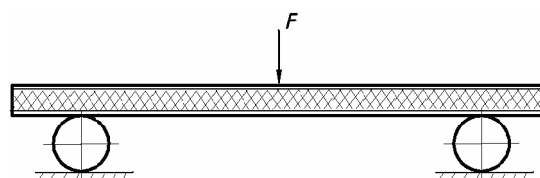
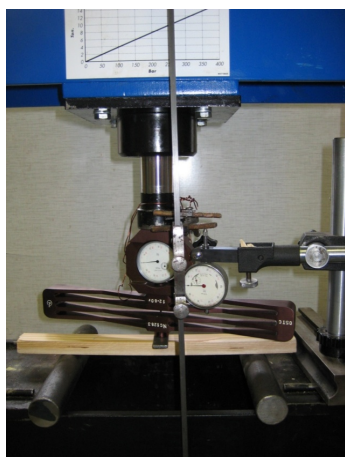
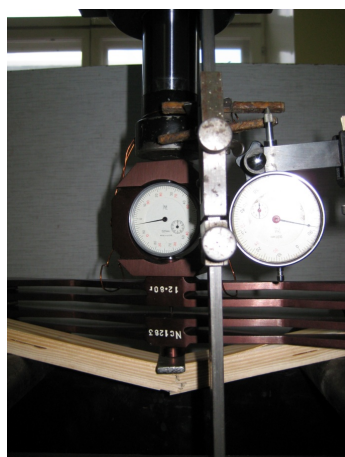


Рис. 1. Схема установки образца и нагружения силой  $F$

На рис. 3 приведены зависимости силы  $F$  от перемещения средней части образца  $S$  при нагружении перпендикулярно волокнам (а) и параллельно волокнам (б).

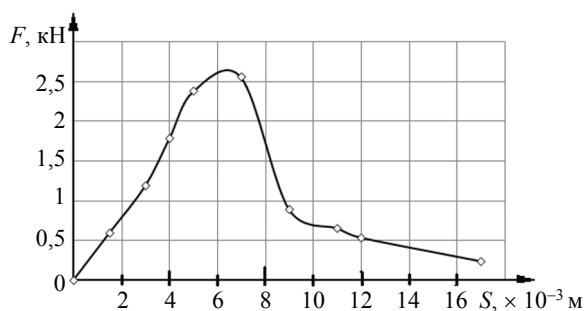


*a*

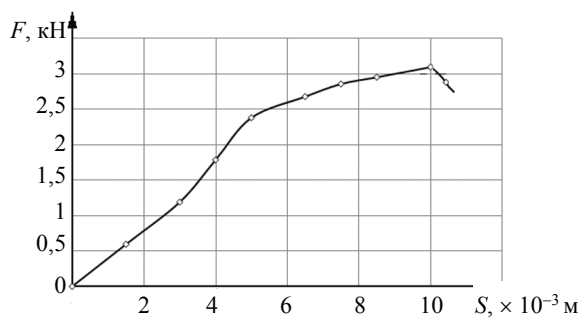


*б*

Рис. 2. Фрагменты испытаний образцов из дерева



*a*



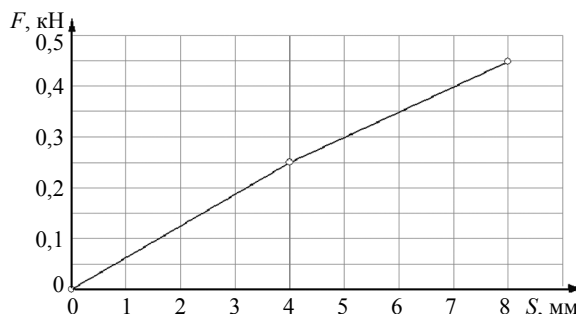
*б*

Рис. 3. Графики изменения вертикальной нагрузки  $F$

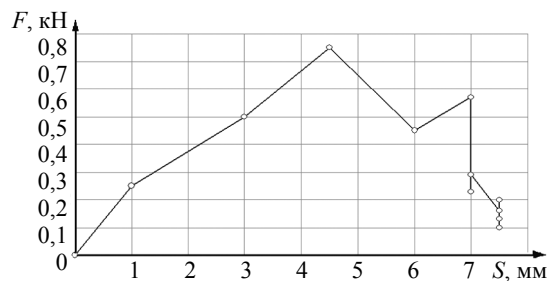
При испытаниях образцов пенополистиролового наполнителя определялись характеристики пенополистирола и армированного фанерой пенополистирола. Фрагмент испытаний и графики изменения нагрузки, действующей на образец, показаны на рис. 4. Аналогичным образом проводились испытания фанеры.



*a*



*б*



*в*

Рис. 4. Фрагмент испытания (а) и результаты исследований образцов из пенополистирола (б) и армированного пенополистирола (в)

Определение характеристик сэндвич-панелей в целом проводилось в условиях их изгибного нагружения. Нагрузка прикладывалась как перпендикулярно, так и параллельно поверхностям обшивок. Образец устанавливался также на цилиндрические опоры (рис. 1), а измерения проводились по аналогии с испытаниями отдельных компонентов (см. рис. 2). Испытывались образцы шириной 25 и 50 мм. Для определения влияния армирования наполнителя испытаниям подвергались образцы панелей с армированным и неармированным пенополистиролом. Образцы панелей после испытаний показаны на рис. 5.

Кроме установки образцов на двух опорах рассматривался режим их нагружения при консольном

закреплении (рис. 6, а). График изменения нагрузки  $F$  при деформации  $S$  показан на рис. 6, б.

По результатам испытаний установлено, что механизм разрушения образцов не зависит от их ширины. В каждом образце происходит сначала хрупкое разрушение более слабой внутренней оболочки из фанеры. При этом значение воспринимаемой нагрузки резко уменьшается. Затем происходит разрушение наполнителя и его отрыв от листов обшивки. Разрушение клеевого шва происходит только в местах соединения оболочек с армирующими вставками наполнителя. На остальной площади происходит разрушение наполнителя вблизи плоскости склеивания при сохранении самого клеевого соединения.

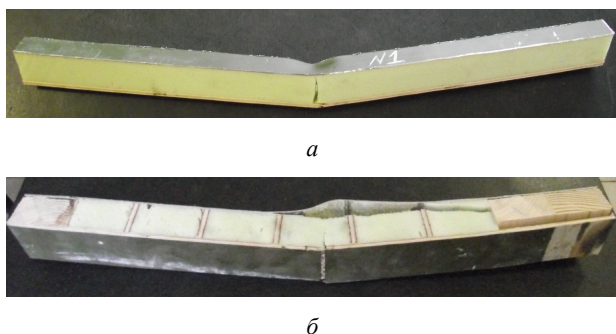
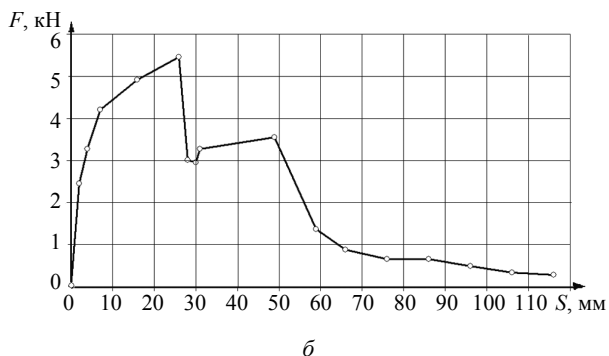


Рис. 5. Образцы панелей после испытаний:  
а – образец шириной 25 мм; б – образец шириной 50 мм



а



б

Рис. 6. Экспериментальные исследования сэндвич-панели (а) и результаты экспериментальных исследований (б)

В кузовах из многослойных панелей одним из важных моментов, оказывающих влияние на их не-

сущую способность, является способ соединения панелей [4]. Поэтому для определения характеристик используемых в конструкции кузова способов соединения панелей (болтового, заклепочного и с помощью шурупов) были проведены испытания крепежных элементов (рис. 7).



Рис. 7. Фрагмент испытания заклепочного соединения

На завершающем этапе были проведены исследования работоспособности и деформируемости отдельных участков кузова вахтового автобуса.

При этом для воспроизведения реальных условий деформируемости углов, как в составе всего кузова, они соединялись попарно (рис. 8).



Рис. 8. Испытания секций кузова

Полученные результаты экспериментальных исследований использовались для корректного задания характеристик материалов при разработке конечно-элементных моделей, предназначенных для проведения расчетной оценки несущей способности и пассивной безопасности кузовов. Установлено, что прочность и пассивная безопасность кузова из сэндвич-панелей во многом определяется прочностью соединительных элементов. Применение расчетно-экспериментальных методов позволяет существенно сократить временные и финансовые затраты по оценке пассивной безопасности кузовных конструкций автотранспортных средств.

#### Библиографические ссылки

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. – Н. Новгород : НГТУ, 2009. – 153 с.
2. Расчетно-экспериментальная оценка прочности и пассивной безопасности кузова автобуса с трехслойными панелями / Л. Н. Орлов [и др.] // Журнал ААИ. – 2011. – № 1. – С. 20–22.
3. Анализ экспериментальных методов оценки прочности силовой структуры транспортных средств категории «М3», предусмотренных правилами ЕЭК ООН № 66 и корректная постановка задачи математического моделирования / И. В. Ким [и др.] // Журнал ААИ. – 2010. – № 3. – С. 32–36.
4. Воронков О. В., Песков В. И., Хорычев А. А. Новое в конструкции и проектировании автобусных кузовов. – Н. Новгород : НГТУ, 2009. – 185 с.

*A. S. Vashurin*, Candidate for a Degree, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev  
*A. V. Gerasin*, Postgraduate Student, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev  
*L. N. Orlov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev  
*A. V. Tumasov*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev  
*K. S. Ivshin*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Udmurt State University, Izhevsk

#### Estimation of Bus Body Sandwich-Panels Characteristics

*The paper presents testing results of loading of sandwich-panels components and samples, and connecting elements that are used in bus body constructions and characterized by high level of robustness as well as relatively low weight.*

**Key words:** multilayer panel, sandwich panel, passive safety, test, bending, loading, car body.

УДК 62-762:539.37

**К. Н. Смирнов**, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова  
**А. В. Щенятский**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НДС ИДЕАЛЬНОГО ПРЕССОВОГО ПОЛИСОЕДИНЕНИЯ С ПРОДОЛЬНОМ ВОЛОКНИСТЫМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

*Проанализированы аналитическое и численное определения НДС сложных многослойных прессовых соединений с натягом, содержащих множественный контакт в области сопряжения деталей конструкции. Обусловлен преимущественный переход к численному методу конечных элементов для решения сложных контактных задач. Приведен математический алгоритм определения НДС полислоистых соединений с множественным контактом сопрягаемых деталей.*

**Ключевые слова:** соединение с натягом, множественный контакт, поликонтакт соединения с натягом, напряженно-деформированное состояние соединения с натягом.

**С**овременные инженерные расчеты проводятся множеством различных способов, одним из которых является численный метод решения задач конечными элементами. Метод развивается как отдельное направление науки и находит применение для других областей академической практической деятельности. Область инженерной науки в соединениях с натягом во многих работах [1, 9, 11,

12, 20] успешно используют метод конечных элементов при расчете сложных конструкций.

В продолжение работ изучения соединений с натягом [18] необходимо усовершенствование предложенных методов решения задач по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) и впоследствии нагрузочной способности конструкций прессовых полисоединений (ППС) с волокни-