

УДК 629.113.5

## СНИЖЕНИЕ МАССЫ АВТОБУСНОГО КУЗОВА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ В ЕГО КОНСТРУКЦИИ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ НЕСУЩИХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ

О.В. Воронков / В.И. Песков, к.т.н.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В последнее время вопросу внедрения несущих трехслойных панелей в конструкцию автобусного кузова уделяется достаточно много внимания. Возможные варианты применения трехслойных панелей в автобусных кузовах рассмотрены в работе [3]. Расчетной оценке прочности и пассивной безопасности кузова автобуса, включающего несущие трехслойные панели, посвящены работы [4] и [5]. Результаты, содержащиеся в данной статье, основываются на принципах рационального проектирования, частично изложенных в работах [1] и [2].

Следует отметить, что не любая трехслойная панель может служить эффективной заменой сварным каркасным конструкциям из малоуглеродистой стали, которые на данный момент широко распространены и достаточно хорошо изучены. Чтобы обеспечить снижение собственной массы кузова автобуса при сохранении прочностных и жесткостных свойств на приемлемом уровне, несущая трехслойная панель должна быть оптимизирована по применяемым конструкционным материалам [1] и по своим геометрическим параметрам. Существенное влияние на весовые, прочностные и жесткостные свойства трехслойной панели оказывает вид используемого среднего слоя [3].

В данной статье анализируется применение оптимизированных несущих трехслойных панелей (с «ребристым» средним слоем) в качестве основания и крыши кузова автобуса II класса по ГОСТ Р 41.107-99. Схема сечения примененных панелей показана на рис. 1.

На рис. 1 обозначено:  $S_1$ ,  $S_2$  — толщины верхней и нижней обшивки соответственно;  $S_3$  — толщина ребер среднего слоя;  $t$ ,  $\alpha$  — шаг и угол наклона ребер среднего слоя соответственно;  $h_3$  — высота среднего слоя.

В качестве примера реальной конструкции будет рассматриваться секция кузова автобуса САМОТЛОП-3242. Основные технические характеристики указанного автобуса приведены в табл. 1, внешний вид автобуса показан на рис. 2.

Данный автобус соответствует II классу по ГОСТ Р 41.107-99, имеет несущий кузов каркасного типа с ра-

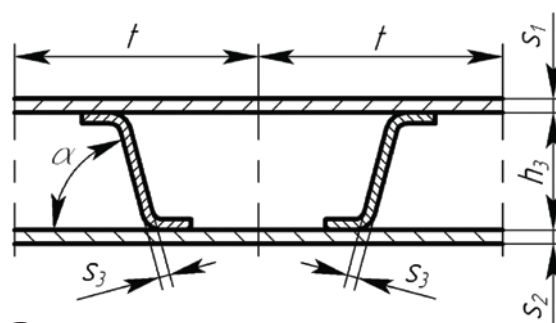


Рисунок 1. Схема сечения панели



Рисунок 2.

Автобус  
САМОТЛОП-3242

Таблица 1. Основные характеристики автобуса САМОТЛОП-3242

Габаритные размеры, м			Масса, кг		Пассажироместность, чел.		
длина	ширина	высота	полная	снаряженная	сидячих	стоячих	всего
8,546	2,446	3,037	7205	4720	29	6	35

Таблица 2. Характеристики исходной конструкции по массе

Наименование	Длина, мм	Масса, кг	Удельная масса, кг/м
Секция целиком	1200	260,9	217,4
Крыша (каркас, оболочка)*		41,5	34,6
Основание (рама, каркас, настил)*		146,7	122,3

\*Масса без учета присоединительных конструктивных элементов.

Таблица 3. Параметры спроектированных трехслойных панелей

Панель	Материал обшивок		Материал ср. слоя		$L$ , мм	$S_1$ , мм	$S_2$ , мм	$S_3$ , мм	$t$ , мм	$h_3$ , мм	$\alpha$ , °
	$E$ , МПа	$[\sigma]_p$ , МПа	$G$ , МПа	$[\tau]$ , МПа							
Основание	фанера ФК		ПС ЭД-20		2283	9,0	3,0	1,2	168	200	90
	11000	17,1	8750	189,2							
Крыша	фанера ФКМ		ПС ЭД-20		1837	3,0	3,0	0,6	90	26	90
	9500	25,7	8750	189,2							



Рисунок 3. Исходная секция кузова

мой шасси, интегрированной в его структуру. Каркас кузова сварен из стальных труб прямоугольного сечения, оболочка крыши — стальной лист, настил пола — влагостойкая фанера. Типовая секция средней части указанного кузова изображена на рис. 3, ее характеристики по массе приведены в табл. 2.

На примере данной типовой секции автобусного кузова каркасного типа будут продемонстрированы потенциальные возможности снижения массы несущих частей за счет замены каркасных конструкций основания и крыши на оптимизированные трехслойные панели. Условие замены — сохранение на существующем уровне или улучшение прочностных и жесткостных свойств указанной секции. Главная нагрузочная ситуация в соответствии с принципами, приведенными в работе [2] — изгиб панелей основания и крыши на пролете между боковинами, что соответствует для панели основания весовой нагрузке от пассажиров, для панели крыши — регламентированной ГОСТ 41.107-99 аварийной нагрузке.

При помощи разработанной авторами методики (частично опубликована в работе [1]), для кузова рассматриваемого автобуса были сконструированы несущие трехслойные панели основания и крыши, оптимизированные для снижения массы и обеспечения мини-

Таблица 4. Характеристики модифицированной конструкции по массе

Наименование	Масса, кг	Удельная масса, кг/м	Снижение массы	
			$M_{исх}/M_{мод}$	%
Секция целиком	130,6	108,8	1,998	49,9
Крыша*	10,6	8,8	3,915	74,5
Основание*	30,4	25,4	4,826	79,3

\*Масса без учета присоединительных конструктивных элементов.

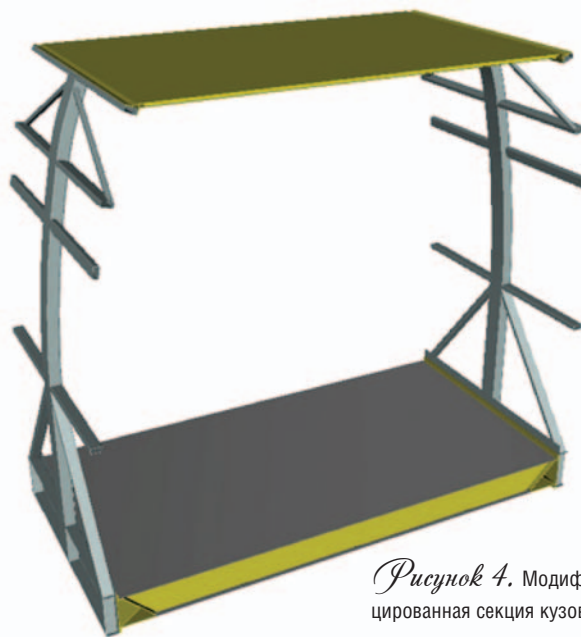


Рисунок 4. Модифицированная секция кузова

имальной стоимости конструкции. Параметры оптимизированных панелей приведены в табл. 3. В табл. 4 приведены характеристики по массе для разработанных трехслойных панелей и секции автобуса после введения в ее конструкцию указанных панелей; производится сравнение модифицированной и исходной конструкций. В табл. 5 приведены стоимостные характеристики «новой» и исходной конструкций (в учет принималась только стоимость материалов).

В табл. 3 обозначено:  $E$  — модуль упругости I рода;  $[\sigma]_p$  — допускаемое напряжение при одноосном растяжении;  $[\tau]$  — допускаемое напряжение при сдвиге;  $L$  — пролет между боковинами; ПС ЭД-20 — пултрузионный стеклопластик на основе ЭД-20.

Таблица 5. Стоимостные характеристики исходной и модифицированной конструкции

Наименование	Стоимость материалов, руб.**		Средняя удельная стоимость, руб./кг		Изменение стоимости	
	исх.	мод.	исх.	мод.	$C_{исх}/C_{мод}$	%
Секция целиком	8833,40	5689,04	33,86	52,27	1,553	-35,6
Крыша*	1457,07	281,15	35,11	26,58	5,183	-80,7
Основание*	4823,84	1122,92	32,88	36,91	4,296	-76,7

\*Без учета присоединительных конструкций. \*\*Цены на материалы взяты на ноябрь 2011 г.

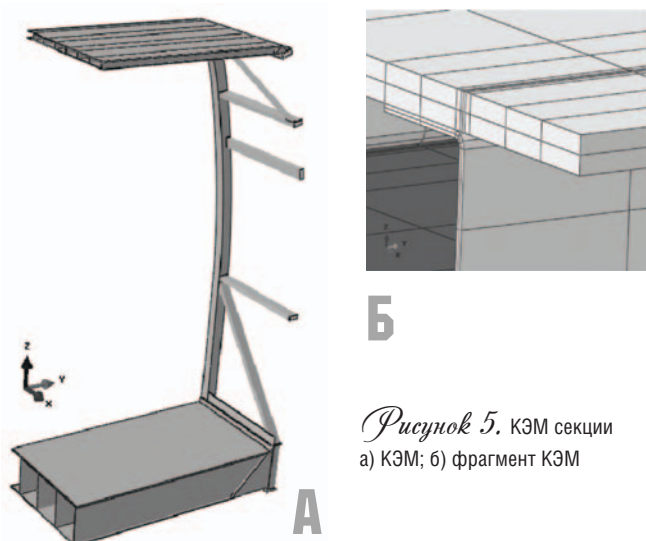


Рисунок 5. КЭМ секции  
а) КЭМ; б) фрагмент КЭМ

В табл. 4 обозначено:  $M_{исх}$  — масса исходной конструкции (каркасной);  $M_{мод}$  — масса модифицированной конструкции.

В табл. 5 обозначено:  $C_{исх}$  — стоимость исходной конструкции;  $C_{мод}$  — стоимость модифицированной конструкции.

Модифицированная секция кузова после замены несущих конструкций основания и крыши на трехслойные панели изображена на рис. 4.

Для подтверждения правильности принятых в ходе проектирования теоретических допущений, гипотез и зависимостей было также произведено моделирование прочностной работы модифицированной несущей конструкции по методу конечных элементов. Результаты, полученные для конечно-элементной модели, сравнивались с результатами расчетов по аналитическим зависимостям, использованным в ходе осуществления оптимизационной методики, разработанной авторами.

Для рассматриваемой секции была выполнена подробная конечно-элементная модель (КЭМ) 1/4 ее части, что вполне обосновано в силу двойной симметрии указанной конструкции, и представляется целесообразным для экономии вычислительных ресурсов. Вид КЭМ секции показан на рис. 5. Основные характеристики КЭМ следующие: 687346 узлов, 136020 элементов, тип элементов: трехмерные 20-ти узловые второго порядка полного интегрирования.

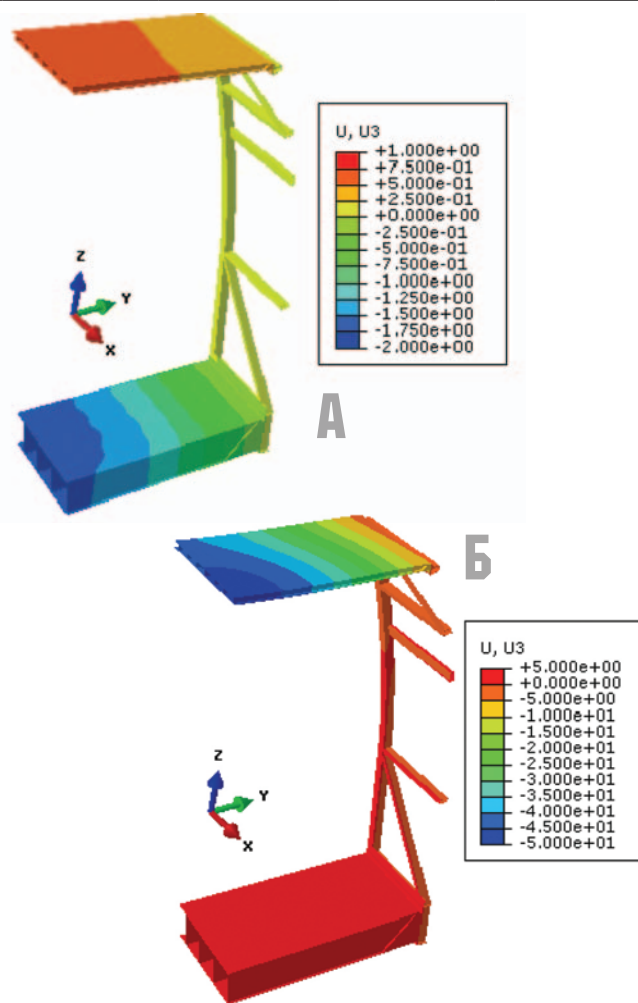


Рисунок 6. Деформированное состояние конструкции:  
а) расчетный случай 1; б) расчетный случай 2

Рассматривались следующие расчетные случаи, отличающиеся способом нагружения:

1) равномерное давление величиной 0,00534 МПа на верхнюю обшивку панели основания, что соответствует весовой нагрузке от пассажиров;

2) равномерное давление величиной 0,00693 МПа на верхнюю обшивку панели крыши, что соответствует регламентированной ГОСТ 41.107-99 аварийной нагрузке.

Деформированное состояние конструкции при рассмотренных расчетных случаях показано на рис. 6.

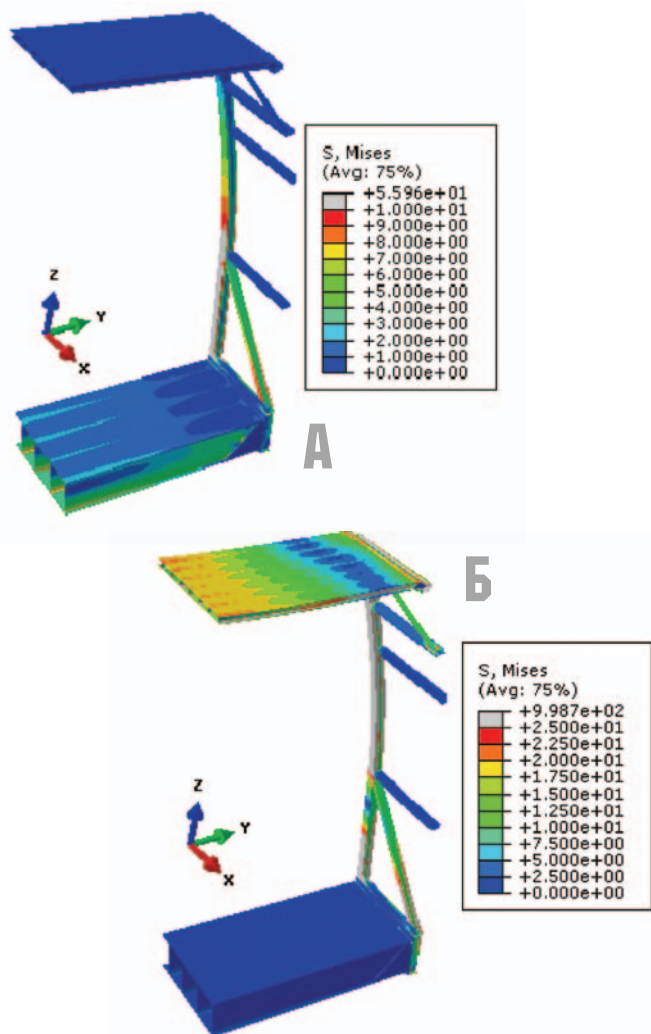


Рисунок 7. Напряженное состояние конструкции:  
а) расчетный случай 1; б) расчетный случай 2

Поле распределения напряжений по элементам конструкции показано на рис. 7. На рис. 6 величины деформаций приведены в мм; на рис. 7 значения напряжений — в МПа.

Сравнение результатов расчетов по методу конечных элементов (МКЭ) с результатами расчетов по использованным аналитическим зависимостям позволило установить, что отличие результатов составляет: а) по величинам деформаций: 1,8...9,8%; б) по величинам напряжений: 1,5...14,0%.

Указанные различия в результатах, в основном, вызваны отличиями реальной конструкции от идеализированных расчетных схем, используемых в процессе проектирования. Однако приведенные данные позволяют говорить, что разработанная авторами и примененная методика обеспечивает точность, достаточную для проектировочных инженерных расчетов автобусных несущих конструкций из трехслойных панелей.

## ВЫВОДЫ

Из приведенных в табл. 4 и табл. 5 данных видно, что в рассматриваемом случае применение предлагаемой авторами методики позволило существенно снизить массу несущих частей автобусного кузова (примерно на 50%), что для указанного автобуса равносильно возможности увеличения пассажироместимости на 13 стоячих пассажиров (на 37% от общего первоначального числа). По отношению к снаряженной массе автобуса указанное снижение массы будет составлять 19,7%. При этом стоимость несущих конструкций снижается примерно на 36%, если принимать во внимание только стоимость материалов. С учетом того, что трудоемкость изготовления трехслойных панелей не выше, чем каркасной конструкции, перспектива внедрения трехслойных панелей в автобусные кузова представляется экономически оправданной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воронков О.В., Песков В.И. Методика выбора рационального сочетания материалов для трехслойной панели автобусного кузова // Журнал ААИ. — 2010, — № 5(64). — С. 8-13.
2. Воронков О.В., Песков В.И. Элементы механики современного автобусного кузова // Журнал ААИ. — 2011, — № 3(68). — С. 44-52.
3. Воронков О.В., Песков В.И., Хорычев А.А. Новое в конструкции и проектировании автобусных кузовов: монография. — Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2009. — 186 с.
4. Орлов Л.Н., Тумасов А.В., Вашурин А.С., Багичев С.А., Ившин К.С., Анашкин А.Н. Расчетно-экспериментальная оценка прочности и пассивной безопасности кузова автобуса с трехслойными панелями // Журнал ААИ. — 2011, — № 1(66). — С. 20-24.
5. Бычков А.В. Метод определения прочностных свойств кузова автобуса, выполненного с использованием слоистых конструкций: дис. канд. техн. наук // МГТУ «МАМИ». — М., 2011. — 218 с.