

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.4.023.142

doi: 10.30987/2782-5957-2023-5-60-68

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЖЕСТКОСТИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВА ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Дмитрий Яковлевич Антипин¹, Елена Витальевна Лукашова^{2✉}, Алексей Петрович Болдырев³, Федор Юрьевич Лозбинев⁴

^{1,2,3,4} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

^{1,3,4} adya2435@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8246-6271>

² leno4kachepikova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2236-728X>

Аннотация

Проведен анализа отечественного и мирового опыта повышения жесткости несущих конструкций кузовов транспортных средств в виде подкрепленной оболочки с вырезом. На основе проведенного анализа в качестве перспективных приняты подходы, связанные с усилением рамы вагона дополнительными продольными элементами и несущими перегородками. Рассмотрены варианты установки одной, двух, а также вариант с двумя перегородками, связанными между собой продольными элементами.

В качестве критерия выбора рационального конструктивного исполнения, повышения жесткости несущей конструкции кузова приняты первая частота изгибных колебаний кузова, максимальные напряжения, действующие в зоне усиления конструкции, а также величина увеличения массы, связанная с введением усиления.

Объектом исследования принята несущая конструкция кузова спального пассажирского вагона модели 61-4517 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

Проанализировав несущую конструкцию кузова вагона, предложены четыре варианта усиления несущей системы. Для каждого из них рассмотрены от четырех до десяти конструктивных исполнений, отличавшихся выбором различных профилей их формирования. Анализ эффективности в рамках

принятых критериев выполнялся методами компьютерного моделирования с использованием современных промышленных программных комплексов, реализующих метод конечных элементов. Разработана детализированная пространственная пластинчатая конечноэлементная модель кузова. В качестве отдельных конечных элементов включено тягловое оборудование, а также конструкции интерьера пассажирского салона. Верификация результатов, получаемых с использованием разработанной модели, выполнена данными стендовых натурных испытаний кузова пассажирского вагона.

Для каждого варианта и конструктивного исполнения получены значения первой собственной частоты изгибных колебаний кузова, величины максимальных напряжений, возникающих в конструкции при действии нормативных усилий, а также величина увеличения массы несущей конструкции.

Анализ полученных вариантов позволил определить рациональный вариант и его конструктивное исполнение, обеспечивающее повышение жесткости несущей конструкции кузова, снижение действующих напряжений при минимальном увеличении массы металлоконструкции.

Ключевые слова: кузов, вагон, конструкция, жесткостные свойства, частота, колебания, решения.

Ссылка для цитирования:

Антипин Д.Я. Обоснование конструктивных решений по повышению жесткости несущей конструкции кузова пассажирского вагона / Д. Я. Антипин, Е. В. Лукашова, А. П. Болдырев, Ф.Ю. Лозбинев // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 05. – С. 60-68. doi: 10.30987/2782-5957-2023-5-60-68.

Original article

Open Access Article

JUSTIFICATION OF DESIGNS TO INCREASE THE BEARING STRUCTURE RIGIDITY OF THE PASSENGER CAR BODY

Abstract

Domestic and international experience in increasing the bearing structure rigidity of vehicle bodies in the form of a reinforced shell with a cut-out is analyzed. Based on the analysis, approaches related to the reinforcement of the car underframe with additional longitudinal elements and bearing partitions are considered as promising. Options for installing one as well as with two partitions connected by longitudinal elements are considered.

The first frequency of the body bending vibrations, the maximum stresses acting in the reinforced part of the structure, as well as the amount of mass gain associated with reinforcements are accepted as the criteria for choosing a rational design to increase the rigidity of the body bearing structure.

The study object is the bearing structure of the sleeping passenger car body, 61-4517 model, produced by Tver Car Building Plant.

Having analyzed the bearing structure of the car body, four variants of reinforcing the bearing system are proposed. For each of them, from four to ten structural designs are considered, differing in the type of

profiles for their formation. The efficiency analysis within the accepted criteria is carried out by computer simulations using modern industrial software systems based on the finite element method. A detailed spatial and plate body model based on finite element is developed. Heavy equipment is included as some finite elements, as well as interior designs of the passenger car. The results obtained using the developed model are verified by the data of bench full-scale tests of the passenger car body.

For each variant and design, the values of the first natural frequency of the body bending vibrations, maximum stresses arising in the structure under the action of regulatory forces, as well as the value of the mass gain of the bearing structure are obtained.

The analysis of the obtained variants made it possible to find out the rational variant and its design, which provides an increase in the rigidity of the body bearing structure, a reduction in operating stresses with a minimal increase in the mass of the metal structure.

Keywords: body, car, structure, rigidity properties, frequency, vibrations, solutions.

Reference for citing:

Antipin DYa, Lukashova EV, Boldyrev AP, Lozbinev FYu. Justification of designs to increase the bearing structure rigidity of the passenger car body. *Transport Engineering*. 2023; 5:60-68. doi: 10.30987/2782-5957-2023-5-60-68.

Методика исследования

В современных условиях к пассажирскому подвижному составу выдвигаются повышенные требования с точки зрения безопасности, комфортности и надежности. При этом одним из наиболее важных элементов, обеспечивающих эти показатели, является несущая конструкция кузова. Обзор конструкций несущих систем кузовов вагонов отечественных и зарубежных производителей показал, что в большинстве случаев они представляют собой тонкостенные подкрепленные оболочки с вырезами [1-5]. Анализ технических требований, конструктивных особенностей и характеристик подобных несущих конструкций, позволил установить, что важной характеристикой кузова, непосредственно оказывающей значительное влияние на указанные выше требования, является жесткость несущей конструкции кузова. Она оказывает влияние на частоты колебания кузова в процессе движения [6], что

влияет как на уровень комфорта пассажиров, так и на усталостную долговечность самой несущей конструкции [7]. Это влияет на надежность вагона и стоимость его жизненного цикла. Жесткость кузова также обеспечивает контур безопасности для пассажиров в аварийных ситуациях, связанных как со столкновениями с препятствиями, так и с опрокидыванием на боковую стену и крышу.

Анализ методов обеспечения требуемой жесткости кузовов пассажирских вагонов позволил выявить основные конструктивные решения, связанные с применением не плоских боковых стен (цилиндрической формы большого радиуса), повышение площади поперечных несущих элементов кузова или введение дополнительных продольных элементов в контур поперечного сечения, установка дополнительных несущих перегородок, нанесение

специальных амортизирующих покрытий на боковые стены.

Первый метод применяется в основном для высокоскоростного пассажирского подвижного состава. Использование в конструкциях неплюских стен не только увеличивает жесткостные качества кузова, но и повышает его аэродинамические показатели. В условиях отечественного производства для спальных вагонов указанный метод менее эффективен, поскольку требует значительных капитальных вложений в перестройку технологических процессов изготовления кузовов, значительно усложнит технологию сборки стен, а также приведет к недоиспользованию габарита подвижного состава. Метод, связанный с применением демпфирующих покрытий менее эффективен, требует применения дорогостоящих полимерных материалов, и также связан со значительными изменениями в технологию изготовления кузовов вагонов. По этой причине, в качестве перспективных методов увеличения жесткости несущей конструкции кузовов отечественных пассажирских вагонов, целесообразно рассматривать методы, связанные с введением в несущую систему кузова дополнительных продольных элементов или несущих перегородок.

Указанные методы не потребуют значительных изменений технологии производства, а применение для их формирования, используемого при изготовлении вагона сортамента, позволит уменьшить себестоимость проекта модернизации. Данные конструктивные решения целесообразно применить в кузовах несамоходных пассажирских вагонах локомотивной тяги.

В качестве объекта для апробации предложенных методов рассматривался спальный вагон модели 61-4517 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

На основе анализа несущей конструкции вагона для повышения ее жесткости были предложены четыре варианта усиления (рис. 1):

– усиление рамы вагона, путем введения дополнительных продольных элементов;

– установка дополнительной несущей перегородки в среднем сечении кузова;

– установка двух несущих перегородок на расстоянии $1/3$ длины рамы;

– установка двух несущих перегородок на расстоянии $1/3$ длины рамы, связанных между собой продольными элементами, расположенными на крыше, раме и боковых стенах кузова.

Для каждого из вариантов сформированы от четырех до десяти конструктивных исполнений с различными сочетаниями подкрепляющих элементов.

Для первого варианта (рис. 1а) в качестве продольных элементов были применены: швеллер стальной гнутый равнополочный ГОСТ 8278-83 $100 \times 60 \times 60 \times 4$; профиль стальной гнутый замкнутый сварной квадратный и прямоугольный для строительных конструкций ГОСТ 19771-2012 $100 \times 100 \times 4$; уголок стальной гнутый равнополочный ГОСТ 19771-93 $100 \times 100 \times 4$; профиль стальной гнутый зетовый ГОСТ 13229-78 $100 \times 110 \times 49 \times 4$. В работе рассмотрены четыре конструктивных исполнения усиления рамы. В варианте установки дополнительной несущей перегородки в среднем сечении кузова (рис. 1б) конструкцию каркаса перегородки предложено выполнить по типу межкупейной, что позволило уменьшить дополнительный вес, варианта усиления, поскольку вводятся элементы взамен штатных. Было рассмотрено десять конструктивных исполнений каркаса перегородки с различными видами сечения стоек и стрингеров. В качестве профилей был принят сортament, уже используемый при изготовлении кузова вагона: зетового сечения, швеллер, равнополочный уголок, неравнополочный уголок.

Схема установки двух несущих перегородок, по типу межкупейной перегородки, находящихся друг от друга на расстоянии $1/3$ длины рамы, показана на рис. 1в. Конструкцию каркасов двух несущих перегородок и подбор рациональных значений профилей предложено выполнить аналогично предыдущему варианту.

Четвертый вариант усиления при установке двух несущих перегородок, свя-

занных между собой продольными элементами, аналогичен предыдущему. Боковые стены, рама и крыша, элементы которых располагаются между двумя несущими перегородками, были усилены стрингерами в виде перфорированного гнутого зетового профиля размером $40 \times 65 \times 45 \times 2,5$

мм (рис. 1г). Конструкция каркасов двух несущих перегородок выполнена аналогично предыдущему варианту. Для третьего и четвертого вариантов усиления рассмотрены по десять конструктивных исполнений.

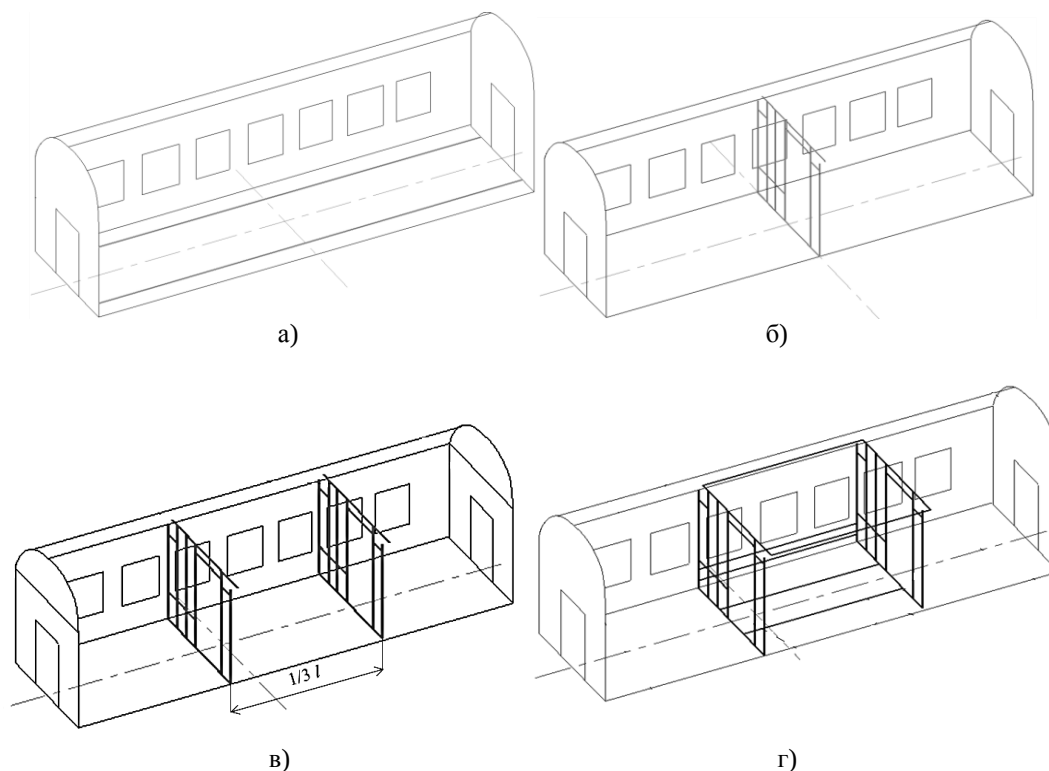


Рис. 1. Варианты конструктивных решений по увеличению жесткости кузова:
а – установка продольных элементов на раме вагона; б – установка несущей перегородки;
в – установка двух несущих перегородок; г – установка двух несущих перегородок, связанных между собой продольными элементами

*Fig. 1. Variants of constructive solutions to increase the rigidity of the body:
a – installation of longitudinal elements on the car frame; б – installation of a bearing partition; в – installation of two load-bearing partitions; г – installation of two load-bearing partitions interconnected by longitudinal elements*

Для оценки эффективности предложенных вариантов необходимо определить параметры сформированных усиленных несущих конструкций. Параметром, принятым в качестве критерия выбора рациональной несущей конструкции, является первая собственная частота изгибных колебаний. Ее определение возможно экспериментальным методом на реальной конструкции кузова вагона, аналитическими методами и с помощью математического компьютерного моделирования. Исследования на основе эксперимента являются материально затратными. Для них необходимо наличие изготовленных несущих конструкций кузовов, и они не применимы

для многовариантных исследований. Аналитически первая собственная частота изгибных колебаний кузова может быть найдена рассмотрением кузова вагона в качестве безопорной балки, имеющей равномерно распределенную массу и момент инерции, соответствующий среднему сечению кузова (ГОСТ 34093-2017). При этом у несущей конструкции кузова пассажирского вагона площадь поперечного сечения изменяется по длине. Масса кузова также распределена неравномерно. Указанные особенности приводят к значительной погрешности результатов, получаемых аналитически.

Анализ отечественного и мирового опыта в исследовании динамики несущих подкрепленных оболочек показал, что наиболее рациональным и общепринятым является использование математического моделирования. В качестве основного используется метод конечных элементов, реализованный в современных промышленных программных комплексах. Подобный подход позволяет оценить (еще на стадии проектирования) динамические и прочностные характеристики несущей конструкции, а также реализовывать многовариантные расчеты [8-10].

При определении первой собственной частоты изгибных колебаний кузова вагона методом конечных элементов масса брутто кузова равномерно распределяется по узлам модели, а диссипация учитывается только в металле кузова. В реальной конструкции кузова масса оборудования экипировки и пассажиров распределяется неравномерно, а также присутствуют диссипативные силы между элементами интерьера пассажирского салона и металлоконструкцией. Указанные факторы оказывают значительное влияние на частоты и формы колебания несущей конструкции кузова.

Для учета описанных особенностей предложена усовершенствованная методика оценки первой собственной изгибной частоты колебаний кузова, с использованием детализированных конечноэлементных схем и учета реального распределения массы металлоконструкции кузова, оборудования пассажиров и отделки вагона.

В рамках методики формирование конечноэлементной модели предусматривает следующие этапы:

- разработка и верификация пластинчатой конечноэлементной расчетной схемы несущей конструкции кузова пассажирского вагона;

Результаты исследования

На основе созданных моделей определены величины первой собственной частоты изгибных колебаний, максимальные напряжения в зоне усиления, от действия нагрузок, соответствующих первому и третьему расчетным режимам «Норм на проектирования вагонов» [11], а также вели-

- моделирование тяжеловесного оборудования (бак с водой, кондиционер, подвагонное оборудование) объемными конечными элементами, присоединяемыми к металлоконструкции кузова в узлах, соответствующих точкам крепления данного оборудования в реальной конструкции. Вес экипировки вагона равномерно распределяется по объему соответствующих объемных элементов, описанных выше;

- моделирование пола пассажирского салона пластинчатыми конечными элементами, подкрепленными стержневыми элементами, описывающими алюминиевые балки. Опираемость пола на несущий настил рамы описывается стержневыми конечными элементами, учитывающими работу резиновых опор;

- моделирование межкупейных перегородок пластинчатыми конечными элементами, диванов и полок объемными. Вес пассажиров и багажа равномерно распределяется по объему соответствующих полок и диванов.

В соответствии с изложенной методикой для каждого из вариантов (рис. 1) были созданы конечноэлементные модели кузова в среде промышленного программного комплекса (рис. 2). Верификация базовой модели кузова вагона, соответствующая серийному вагону, выполнена на основе данных натурных стендовых испытаний. Разница по максимальным напряжениям для испытательных режимов нагружения не превысила 17 %. По величине собственной частоты изгибных колебаний не превысила 9 %. На основе базовой конечноэлементной модели сформированы 34 варианта, соответствующих различным конструктивным исполнениям усиления, описанных выше.

чина увеличения массы конструкции кузова, связанного с внедрением усиления. Результаты расчетов приведены в таблице.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, позволил установить, что усиление по варианту один (рис. 1а) обеспечивает повышение первой собственной частоты из-

гибных колебаний до 8,19 Гц, при этом масса кузова увеличивается на 199 кг. Максимальные действующие напряжения достигают уровня 178,2 МПа. Усиление по варианту два (рис. 1б) обеспечивает повышение первой собственной частоты изгибных колебаний до 8,18 Гц, при этом масса кузова увеличивается на 79 кг, максимальные действующие напряжения достигают уровня 173,9 МПа. Третий вариант усиления (рис. 1в) позволяет повысить

первую собственную частоту изгибных колебаний до 8,53 Гц, при этом масса кузова увеличивается на 159 кг. Максимальные действующие напряжения достигают уровня 168,3 МПа. Четвертый вариант усиления (рис. 1г) позволяет повысить первую собственную частоту изгибных колебаний до 8,92 Гц, при этом масса кузова увеличивается на 282 кг. Максимальные действующие напряжения достигают уровня 167,2 МПа.

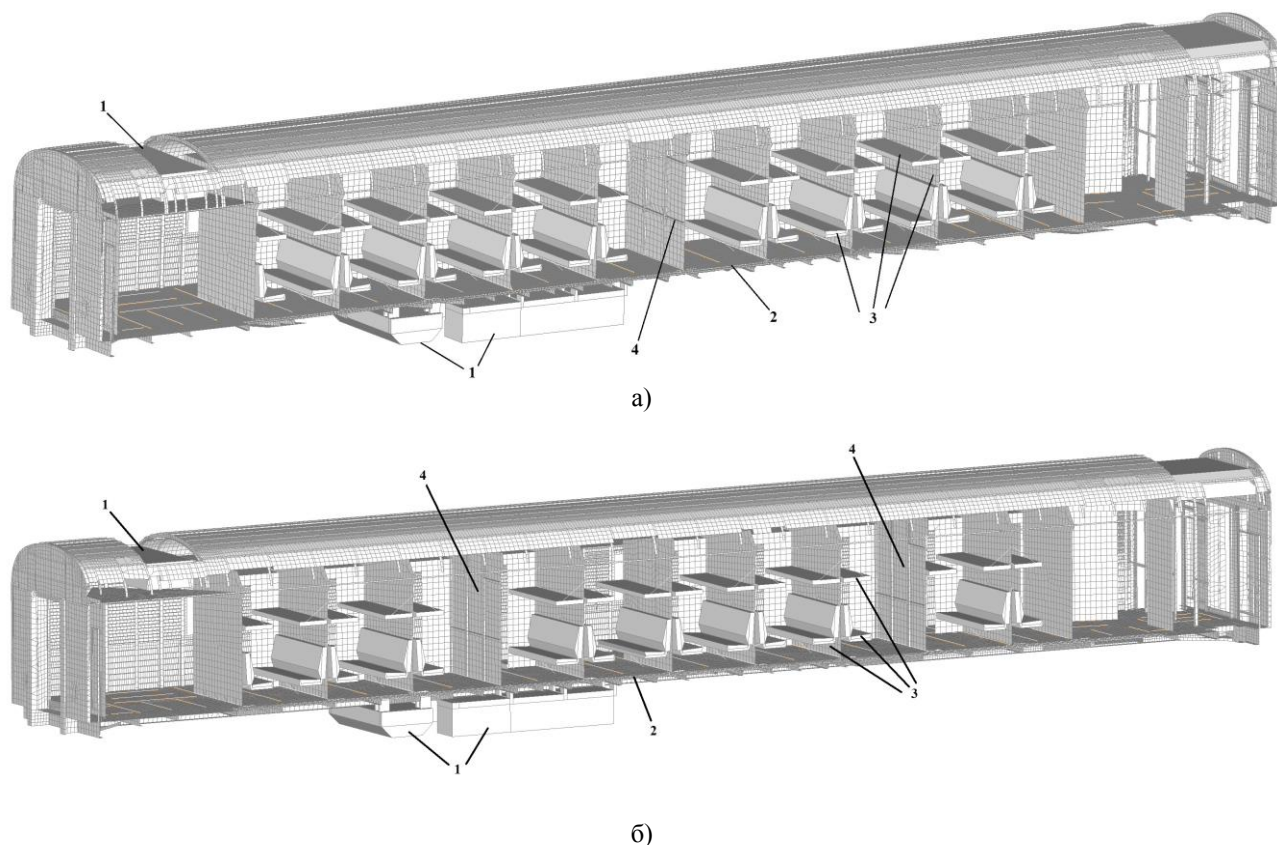


Рис. 2. Конечноэлементная модель металлоконструкции кузова пассажирского вагона:
а – вариант модели с одной усиливающей перегородкой; б – вариант модели с двумя усиливающими перегородками;
1 – тяжеловесное оборудование; 2 – пол пассажирского салона; 3 – элементы интерьера пассажирского салона; 4 – усиливающие перегородки
Fig. 2. Finite element model of the metal structure of the passenger car body:
a – version of the model with one reinforcing baffle; b – version of the model with two reinforcing baffles;
1 – heavy equipment; 2 – floor of the passenger compartment;
3 – elements of the interior of the passenger compartment; 4 – reinforcing partitions

Сопоставление полученных результатов указывает на то, что повышение жесткости кузова за счет усиления рамы дает наименьший эффект при значительном увеличении массы кузова.

Применение усиливающей перегородки в середине базы вагона увеличивает жесткость контура поперечного сечения

кузова. Но эффект наблюдается локальный, при этом увеличение жесткости кузова сопоставимо с первым вариантом усиления, но при меньшем, практически в 2,5 раза, увеличением массы кузова (большим снижением максимальных действующих напряжений). Применение двух усиливающих перегородок (рис. 1в) приводит к

распространению эффекта увеличения жесткости контура несущей оболочки кузова на большую длину базы вагона. При этом форма колебания кузова на длине базы сменяется с одной волны на две. Наблюдается более интенсивный рост жесткости кузова, при этом увеличение его массы сопоставимо с первым вариантом усиления. Четвертый вариант позволяет устранить недостаток третьего, связанный

с взаимными колебаниями усиливающих перегородок. Введение соединительных элементов (рис. 1г) позволяет работать двум перегородкам как одной несущей системе, что обеспечивает наибольший рост жесткости кузова и увеличение первой собственной частоты изгибных колебаний на 9,5 % (при увеличении массы в пределах 255-282 кг и максимальном снижении действующих напряжений).

Оценка эффективности конструктивных решений

Таблица

Table

Evaluation of the effectiveness of design solutions

Варианты конструктивных решений	Варианты подкрепляющих наборов	Собственные частоты, Гц	Максимальные напряжения, МПа	Увеличение массы конструкции, кг
1	1	8,13	169,4	109
	2	8,19	156,3	199
	3	8,11	178,2	103
	4	8,15	172,1	129
2	1	8,18	159,2	79
	2	8,08	173,2	53
	3	8,08	170,1	55
	4	8,10	168,2	56
	5	8,13	160,3	66
	6	8,12	163,4	62
	7	8,12	165,7	59
	8	8,15	159,8	71
	9	8,07	173,9	53
	10	8,11	166,2	57
3	1	8,53	153,6	159
	2	8,36	168,3	105
	3	8,40	165,2	109
	4	8,42	163,5	112
	5	8,49	157,2	131
	6	8,46	159,7	124
	7	8,45	160,1	118
	8	8,50	155,3	143
	9	8,38	155,3	107
	10	8,42	163,8	113
4	1	8,92	145,4	282
	2	8,69	167,2	229
	3	8,73	164,2	233
	4	8,75	163,9	236
	5	8,84	150,1	255
	6	8,82	153,6	247
	7	8,80	158,9	242
	8	8,89	148,4	266
	9	8,71	165,7	230
	10	8,77	160,0	237

Выводы

Проведенный анализ методов повышения жесткости несущих конструкций кузовов вагонов в виде несущих подкреп-

ленных оболочек с вырезами, а также конструктивных особенностей несущих систем современных отечественных пасса-

жирских вагонов, позволил сформировать четыре варианта усиления. В качестве критериев выбора рационального варианта приняты первая собственная частота изгибных колебаний, максимальные напряжения в зоне усиления и величина увеличения массы конструкции кузова. Для оценки этих критериев предложена оригинальная методика создания детализированных конечноэлементных моделей, учитывающих реальное расположение тяжеловесного оборудования, элементов интерьера пассажирского салона и пассажиров с багажом. В рамках методики разработаны 34

варианта конечноэлементной модели кузова вагона с различными вариантами усиления. На их основе получены значения принятых критериев. Их анализ позволил сделать вывод об эффективности варианта усиления кузова при установке двух несущих перегородок, связанных между собой продольными несущими элементами. Данный вариант позволяет при незначительном увеличении массы кузова повысить жесткость кузова и снизить максимальные напряжения, действующие в зонах усиления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вибрации в технике: справочник в 6 т. Т. 6. Защита от вибрации и ударов / В. К. Асташев, В. И. Бабицкий, И. И. Быховский и др.; под ред. К. В. Фролова. М.: Машиностроение, 1995. – 456 с.
2. W. Sun, J. Zhou, D. Gong, T. You Analysis of modal frequency optimization of railway vehicle car body. *Advances in Mechanical Engineering* 2016, Vol. 8(4). P. 1–12.
3. Светлов, В.И. Технические решения по механике пассажирских вагонов. Методы обоснования [Текст] / В.И. Светлов. М.: Глобус, 2002. – 200 с.
4. Jamadar, A. M. Parametric study of castellated beam with circular and diamond shaped openings/ A. M. Jamadar, P. D. Kumbhar// *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2015. Vol. 2. № 2. PP. 715-722.
5. Kaveh, A. Cost optimization of castellated beams using charged system search algorithm/ A. Kaveh, F. Shokohi// *Transactions of Civil Engineering*. 2014. Vol. 38. № C1. PP. 235 – 249.
6. Горохова, М.В. Динамическая жесткость пластин с вырезами [Текст] / М.В. Горохова// *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. 2004. № 10. – С. 11-14.
7. Carlbom, P. Carbody and Passengers in Rail Vehicle Dynamics/ Doctoral thesis. Stockholm, 2000. – 107 p.
8. Гончаров, П.С. NX Advanced Simulation. Практическое пособие / П.С. Гончаров, И.А. Артамонов, Т.Ф. Халитов, С.В. Денисихин, Д.Е. Сотник. М.: МДК Пресс, 2014. – 112 с.
9. Ashurkova, S.N. Methods of analysis of the impact of design features of bodies of passenger cars on their stiffness and strength characteristics / S.N. Ashurkova, V.V. Kobishchanov, E.V. Kolchina// *Procedia Engineering*, 2017. Т. 206. P. 1623–1628.
10. Ашуркова, С.Н. Обоснование конечноэлементной модели для исследования напряженно-деформированного состояния кузова пассажирского вагона [Текст] / С.Н. Ашуркова, А.М. Высоцкий// *Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: сборник материалов IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием*. – Ижевск: ИННОВА, 2016. – С.880-885.
11. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ. ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.

REFERENCES

1. Astatheev VK, Babitsky VI, Bykhovsky II, *Vibrations in technology: handbook. Protection from vibration and shock*. Moscow: Mashinostroyeniye; 1995.
2. Sun W, Zhou J, Gong D, You T. Analysis of modal frequency optimization of railway vehicle car body. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016;8(4):1-12. doi:10.1177/1687814016643640
3. Svetlov VI. Engineering solutions for the passenger car mechanics. *Methods of justification*. Moscow: Globus; 2002.
4. Jamadar AM, Kumbhar PD. Parametric study of castellated beam with circular and diamond shaped openings. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2015;2(2):715-722.
5. Kaveh A, Shokohi F. Cost optimization of castellated beams using charged system search algorithm. *Transactions of Civil Engineering*. 2014;38(1):235 – 249.
6. Gorokhova MV. Dynamic rigidity of plates with cutouts. *Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport*. 2004;10:11-14.

7. Carlbom P. Carbody and Passengers in Rail Vehicle Dynamics [doctoral thesis]. [Stockholm (Sw)]:2000.
8. Goncharov PS, Artamonov IA, Khalitova TF, Denisikhin SV, Sotnik DE. NX advanced simulation: practical guide. Moscow: MDK Press; 2014.
9. Ashurkova SN, Kobishchanov VV, Kolchina EV. Methods of analysis of the impact of design features of bodies of passenger cars on their stiffness and strength characteristics. Procedia Engineering. 2017;206:1623–1628.
10. Ashurkova SN, Vysotsky AM. Justification of a finite element model for the study of the stress-

strain state of the passenger car body. Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference of Graduate Students, Undergraduates and Young Scientists with International Participation, 2016: Young Scientists to Accelerating Scientific and Technological Progress in the XXI Century; Izhevsk: INNOVA; 2016.

11. Norms for calculating and designing new and modernized railcars of МПС gauge of 1520 mm (non-self-propelled). Moscow: GosNIIV. VNIIZhT; 1983.

Информация об авторах:

Антипин Дмитрий Яковлевич – к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор Учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, e-mail: adya24@rambler.ru.

Лукашова Елена Витальевна – ассистент кафедры «Трубопроводные транспортные системы»

Брянского государственного технического университета, e-mail: leno4kachepikova@gmail.com.

Болдырев Алексей Петрович – доктор технических наук, профессор, Брянский государственный технический университет, тел. 84832560466.

Лозбинец Федор Юрьевич – доктор технических наук, профессор, Брянский государственный технический университет, тел. 84832560466.

Antipin Dmitry Yakovlevich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University; e-mail: adya24@rambler.ru.

Lukashova Elena Vitalyevna – Assistant of the Department of Pipeline Transport Systems at Bryansk

State Technical University; e-mail: leno4kachepikova@gmail.com.

Boldyrev Aleksey Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Bryansk State Technical University, phone: 84832560466.

Lozbinev Fyodor Yuryevich - Doctor of Technical Sciences, Professor of Bryansk State Technical University, phone: 84832560466.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 25.03.2023; одобрена после рецензирования 14.04.2023; принята к публикации 27.04.2023. Рецензент – Волохов Г.М., доктор технических наук, заведующий отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры Акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 25.03.2023; approved after review on 14.04.2023; accepted for publication on 27.04.2023. The reviewer is Volokhov G.M., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength of "Research and Development and Technological Institute of Rolling Stock", member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.