

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. №3 (153). С.31-41.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. №3 (153). P.31-41.

Научная статья
УДК 629.4.023.142:624.078.8+621.791
doi: 10.30987/2223-4608-2024-31-41

Повышение жесткости кузова пассажирского вагона

Елена Витальевна Лукашова¹, инженер

Дмитрий Яковлевич Антипин², к.т.н.

Николай Александрович Лукашов³, аспирант

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

¹ leno4kachepikova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2236-728X>

² adya2435@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8246-6271>

³ Lukashov32@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0005-6733-2039>

Аннотация. Рассмотрены методы обеспечения требуемой жесткости кузовов пассажирских вагонов, которые позволили выявить основные конструктивные решения, и технология их сборки. Получены варианты с усилением рамы вагона дополнительными элементами, с установкой одной и двух поперечных перегородок, а также вариант с двумя перегородками, связанными между собой продольными элементами. В качестве критерия выбора рационального конструктивного решения повышения жесткости несущей конструкции кузова приняты первая частота изгибных колебаний, максимальные напряжения, действующие в зоне усиления конструкции, а также величина увеличения массы, связанная с введением дополнительных элементов. Проведен анализ эффективности предложенных конструктивных решений в рамках принятых критериев с помощью метода конечных элементов. Установлено, что наиболее оптимальным для увеличения жесткости кузова является вариант усиления, который предусматривает установку двух несущих перегородок, связанных между собой продольными элементами. Данный вариант позволяет при незначительном увеличении массы кузова повысить его жесткость до 8,92 Гц и снизить максимальные напряжения, действующие в зонах усиления, до 167,2 МПа. Установлено, что усиление, которое предусматривает установку двух несущих перегородок, связанных между собой продольными элементами, является эффективным и работоспособным, поэтому рекомендуется к дальнейшему исполнению в новых конструкциях кузовов пассажирских вагонов. В связи с этим разработан технологический процесс сборки кузова с усиленной конструкцией и представлена его технологическая схема сборки. Установлено, что изменение технологического процесса производства кузова пассажирского вагона от внедрения новых элементов не потребует создания дополнительных производственных линий, т. к. сборку можно выполнить на имеющемся на производственной линии оборудовании. Рекомендовано в технологическом процессе использование портальной контактной точечной машины с двухсторонним подводом тока, которая позволит обеспечить качество технологического процесса сборки.

Ключевые слова: кузов пассажирского вагона, несущая конструкция, жесткостные свойства, собственная частота изгибных колебаний, технологический процесс

Для цитирования: Лукашова Е.В., Антипин Д.Я., Лукашов Н.А. Повышение жесткости кузова пассажирского вагона // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 3 (153). С. 31–41. doi: 10.30987/2223-4608-2024-31-41

Passenger car body stiffening

Elena V. Lukashova¹, engineer

Dmitry Ya. Antipin², PhD Eng.

Nikolay A. Lukashov³, PhD student

^{1, 2, 3} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ leno4kachevikova@gmail.com

² adya2435@gmail.com

³ Lukashov32@gmail.com

Abstract. Methods for ensuring the required stiffness of passenger car bodies are viewed, making it possible to identify the main design solutions and the technology of their assembly. Alternate designs of stiffening carriage frame with additional elements, using one and two cross ridge partitions, as well as a model with two partitions connected by longitudinal elements were obtained. The lowest bending vibrations frequency, maximum stresses acting in the frame stiffening zone, as well as the mass penalty due to the introduction of additional elements were adopted as the criterion for choosing a rational constructive solution for stiffening supporting structures. The effectiveness analysis of the proposed constructive solutions is carried out within the framework of the accepted criteria using the finite element method. It was found that the most optimal way for body stiffening is a model with two load-bearing partitions interconnected by longitudinal elements. This alternate design renders possible, with a slight increase in body weight, to increase body stiffness up to 8,92 Hz and reduce the maximum stresses acting in the amplification zones to 167,2 MPa. It has been found that stiffening owing to two load-bearing partitions interconnected by longitudinal elements, is effective and workable, therefore it is recommended for further new designs of passenger car bodies. In this regard, the technological process of assembling the body with a strengthened design has been developed and its assembly design project is presented. It is found that the change in the process operation of the passenger car body production due to new elements do not require the additional production lines, since assembly can be performed using the equipment available on the existing production line. It is recommended to use a portal contact point machine with a double inlet current supply in the process operation, which will ensure the quality of the assembly process.

Keywords: passenger car body, supporting structure, stiffness properties, natural frequency of bending vibrations, process operation

For citation: Lukashova E.V., Antipin D.Ya., Lukashov N.A. Passenger car body stiffening / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 3 (153). P. 31–41. doi: 10.30987/2223-4608-2024-31-41

Введение

Технологическое повышение надежности изделий заключается в повышении их эксплуатационных свойств [1]. Согласно одноступенчатому технологическому обеспечению эксплуатационных свойств необходимо объединение конструкторских и технологических задач. За счет определения оптимальных по себестоимости технологических операций ещё на стадии проектирования возможно повысить надежность процесса проектирования и снизить себестоимость изделий [2].

При проектирование пассажирского подвижного состава основными задачами для инженеров являются факторы, гарантирующие его конкурентоспособность, такие как безопасность, комфорт, надежность и снижение себестоимости. Для решения данных задач основным является усовершенствование несущей конструкции кузова пассажирского вагона. Проведенный анализ отечественных [3, 4] и зарубежных производителей позволил

установить, что конструкции кузова, в основном, представляют собой тонкостенные подкрепленные оболочки с вырезами. Одной из основных характеристик для них является жесткость.

Достаточная жесткость достигается не только за счет составляющих элементов самой конструкции, но и важную роль играет взаимодействие при контакте поверхностей одних элементов с другими. Контактная жесткость подчеркивает способность конструкции сопротивляться деформациям в результате ее взаимодействия с другими объектами. При расчете конструкций важно учитывать как общую жесткость, так и контактную жесткость, чтобы обеспечить надежность и эффективность в условиях реальной эксплуатации [5].

Жесткостные свойства кузова пассажирского вагона влияют на частоту его колебаний во время движения [6], которая, в свою очередь, оказывает воздействие на усталостную долговечность несущей конструкции и на уровень комфорта пассажиров. Данные

свойства могут быть обеспечены при помощи совершенствования технологии производства, а также оптимизации конструкции, которая также повышает ее стабильность. Технология производства включает в себя такие аспекты, как выбор материалов с высокой прочностью, использование усиленных сварных соединений, применение особых технологий обработки материалов и другие технологические методы, направленные на обеспечение необходимых свойств, что в свою очередь способствует повышению надежности вагонов в процессе эксплуатации [7].

Проведенный анализ методов обеспечения требуемой жесткости кузовов пассажирских вагонов позволил установить, что основная тенденция в данной области сводится к оптимизации конструкции на основе следующих вариантов типовых решений: применение 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 вагона.

Методы и средства

Методы повышения жесткости с использованием конструкций кузовов, имеющих не плоские боковые стены, также повышают аэродинамические качества вагона и применимы в большинстве случаев для высокоскоростных поездов. Для спальных вагонов, которые в свою очередь составляют основной парк пассажирского подвижного состава, указанный метод менее эффективен, т. к. потребует значительных капитальных вложений в перестройку технологических процессов изготовления кузовов, значительно усложнит технологию сборки стен, а также приведет к недоиспользованию габарита подвижного состава.

Для применения демпфирующих покрытий, повышающих жесткость кузова, требуется использование дорогостоящих полимерных материалов. Кроме того, данный метод требует полностью перестроить существующую технологию производства пассажирских вагонов.

С учетом вышеописанного, для увеличения жесткости несущей конструкции кузовов отечественных пассажирских вагонов рационально рассмотреть варианты, связанные с добавлением дополнительных продольных элементов или перегородок в несущую систему кузова. Эти методы не требуют значительных изменений в технологии производства, что позволит снизить общую стоимость проекта оптимизации конструкции [8].

Данные конструктивные решения целесообразно применить в кузовах несамоходных пассажирских вагонов локомотивной тяги. В качестве объекта исследования принят спальный вагон модели 61-4517 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

На основе анализа методов усиления конструкции вагона для повышения ее жесткости были предложены четыре варианта: первый – усиление рамы вагона, путем введения дополнительных продольных элементов; второй – установка дополнительной несущей перегородки в среднем сечении кузова; третий – установка двух несущих перегородок на расстоянии $1/3$ длины рамы; четвертый – установка двух несущих перегородок на расстоянии $1/3$ длины рамы, связанных между собой продольными элементами, расположенными на крыше, раме и боковых стенах кузова (рис. 1).

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

Для первого варианта 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 вариантах, которые предусматривают установку дополнительной несущей перегородки в среднем сечении и установку двух несущих перегородок, находящихся друг от друга на расстоянии $1/3$ длины рамы, конструкцию

каркаса перегородки предложено выполнить по типу межкупейной. Это позволит уменьшить дополнительный вес варианта усиления, поскольку вводятся элементы взамен штатных. Кроме того, внесение изменений в конструкцию не должно приводить к возникновению новых трудоемких технологических операций или необходимости приобретения нового оборудования.

В качестве подкрепляющего набора рассматривалось десять конструктивных исполнений каркаса перегородки с различными видами сечения. В качестве профилей был принят сортамент, уже используемый при изготовлении кузова вагона: зетового сечения, швеллер, равнополочный уголок, неравнополочный уголок. Из десяти вариантов был выбран самый оптимальный, отвечающий всем требованиям жесткости и прочности.

Четвертый вариант усиления за счет установки двух несущих перегородок, связанных между собой продольными элементами аналогичен третьему за исключением того что, боковые стены, раму и крышу, составляющие которых располагаются между двумя несущими перегородками, усиливаются с помощью элементов в виде перфорированного гнутого зетового профиля размером $40 \times 65 \times 45 \times 2,5$ мм. Конструкция каркасов двух несущих перегородок выполнена аналогично предыдущему варианту. Для третьего и четвертого вариантов усиления рассмотрены по десять конструктивных исполнений. Расчет выполнялся методом конечных элементов [9], по методике, представленной в работах [10].

В соответствии с методикой [10] для каждого из вариантов (рис. 1) были созданы конечно-элементные модели кузова. Верификация базовой модели кузова, соответствующей серийному вагону выполнена на основе данных натурных стендовых испытаний, приведенных в работе [10]. Разность по максимальным напряжениям для испытательных режимов нагружения не превышала 10 %. По величине собственной частоты изгибных колебаний – 11,9 %. На основе базовой конечноэлементной модели сформированы варианты, соответствующих различным конструктивным исполнениям усиления, описанных выше.

Результаты и обсуждение

На основе созданных конечноэлементных моделей определены величины первой

собственной частоты изгибных колебаний f . Для выбора наиболее эффективного варианта также были рассчитаны максимальные напряжения в зоне усиления, от действия нагрузок и значения увеличения массы конструкции кузова, связанного с внедрением усиления.

Было установлено, что первый вариант усиления позволил увеличить показатель жесткости до 8,19 Гц. Масса кузова при этом увеличилась на 199 кг, а максимальные действующие напряжения достигли значения 178,2 МПа. Второй вариант повышает значение частоты колебаний до 8,18 Гц при увеличении массы кузова до 79 кг, а максимальные напряжения приближаются к значению 173,9 МПа.

Показатель жесткости для третьего варианта усиления возрастает до значения 8,53 Гц. Масса кузова при этом возросла на 159 кг, а максимальные действующие напряжения достигли 168,3 МПа. При усилении конструкции с помощью четвертого варианта жесткостной показатель f увеличивается до 8,92 Гц. Масса при этом стала больше на 282 кг, а напряжения приблизились к значению в 167,2 МПа.

Анализ полученных результатов позволил прийти к заключению, что повышение жесткости кузова за счет усиления рамы дает наименьший эффект при значительном увеличении массы кузова (см. рис. 1, б).

Применение усиливающей перегородки в середине кузова вагона увеличивает жесткость контура поперечного сечения кузова. Однако, эффект наблюдается локальный. При этом, увеличение жесткости кузова сопоставимо с первым вариантом усиления, но при меньшем (до 2,5 раз) увеличении массы кузова (см. рис. 1, в), и большим снижением максимальных действующих напряжений. Применение двух усиливающих перегородок (см. рис. 1, г) 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 (см. рис. 1, *д*) позволяет работать двум перегородкам как одной несущей системе, что обеспечивает наибольший рост жесткости кузова, и

позволяет обеспечить увеличение первой собственной частоты изгибных колебаний на 9,5 %. При увеличении массы в пределах 255...282 кг и максимальном снижении действующих напряжений.

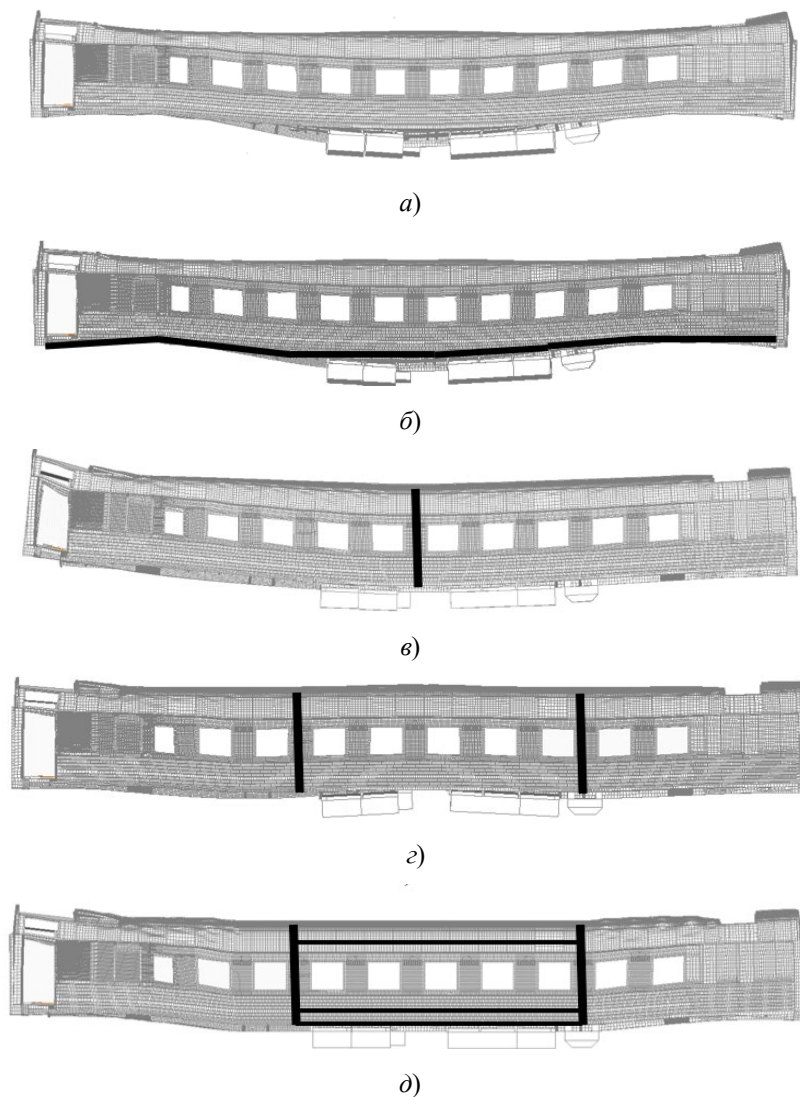


Рис. 1. Формы колебаний металлоконструкции кузова пассажирского вагона:

a – базовый вариант; *b* – первый вариант с усиленной рамой; *в* – второй вариант модели с одной усиливающей перегородкой; *г* – третий вариант модели с двумя усиливающими перегородками; *д* – четвертый вариант модели с двумя усиливающими перегородками, связанными продольными элементами

Fig. 1. Vibration patterns of the metal structure of the passenger car body:

a – basic version; *b* – the first version with a stiffened frame; *c* – the second version of the model with one strengthening partition; *d* – the third version of the model with two strengthening partitions; *d* – the fourth version of the model with two reinforcing partitions connected by longitudinal elements

На основе полученных данных было установлено, что наиболее эффективным для увеличения жесткости кузова является

четвертый вариант усиления, который предусматривает установку двух несущих перегородок, связанных между собой продольными

несущими элементами. Данный вариант позволяет при незначительном увеличении массы кузова повысить его жесткость и снизить максимальные напряжения, действующие в зонах усилений.

Для оценки работоспособности принятого варианта усиления конструкции кузова были рассчитаны вертикальные a_v и горизонтальные a_h ускорения в середине кузова.

Данные, полученные в результате расчета конструкции кузова с усилениями, сопоставлялись с данными, полученными при расчете базового варианта конструкции. Графики зависимости ускорений кузова от скорости движения состава представлены на рис. 2 и рис. 3.

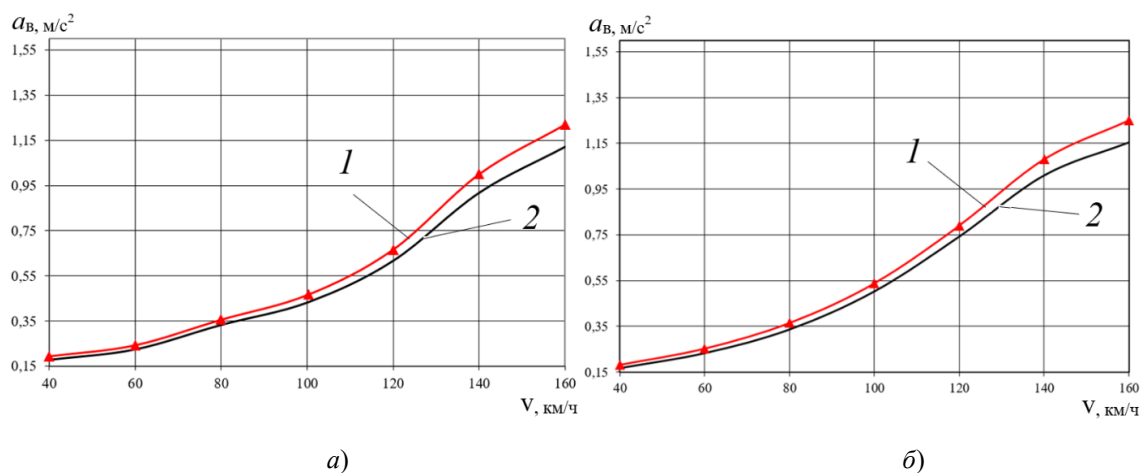


Рис. 2. Зависимости вертикальных ускорений кузова от скорости движения вагона:

a – на прямом участке; b – в кривой;

1 – базовый вариант; 2 – вариант с усиленной конструкцией

Fig. 2. Dependences of vertical accelerations of the body on the car speed:

a – in a straight track; b – in a curve;

1 – basic version; 2 – version with supported construction

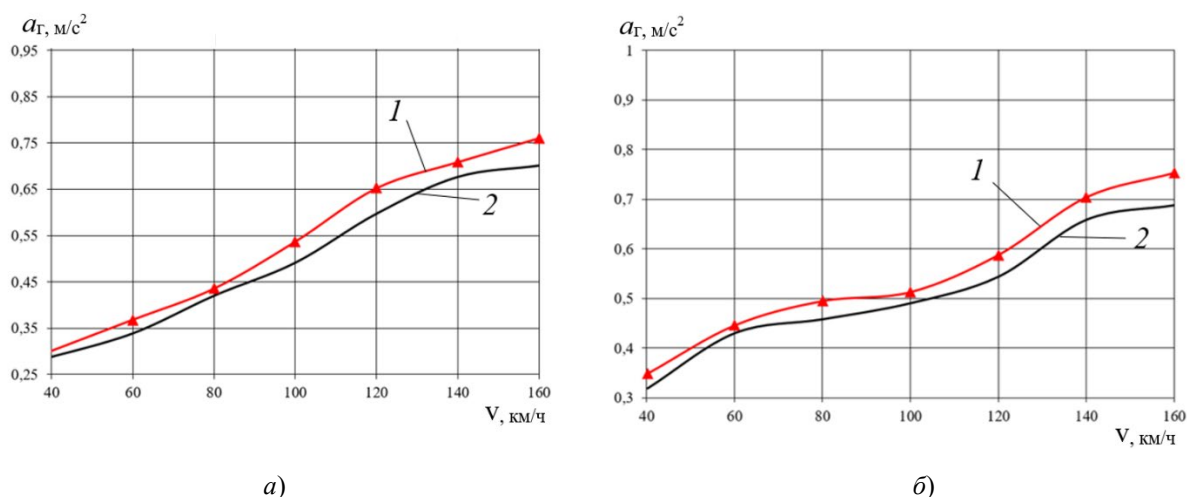


Рис. 3. Зависимости горизонтальных ускорений кузова от скорости движения вагона:

a – на прямом участке; b – в кривой;

1 – базовый вариант; 2 – вариант с усиленной конструкцией

Fig. 3. The dependence of the horizontal accelerations of the body on the car speed:

a – in a straight track; b – in a curve;

1 – basic version; 2 – version with supported construction

Полученные результаты показывают, что усовершенствованный вариант превосходит базовый по следующим значениям динамических показателей: вертикальные ускорения кузова снизились на 6,52...8,24 % – на прямых участках пути; на 6,13...8,75 % – в кривых; горизонтальные ускорения кузова снизились на 3,45...7,85 % – на прямых участках пути; на 3,65...8,70 % – в кривых.

Также была определена динамическая нагруженность кузова базового варианта и варианта с усилением конструкции. Результаты сравнения зафиксированных в среднем сечении

кузова на уровне пола спектральной плотности мощности вертикального виброускорения W для различных частот колебаний f и скоростей движения v представлены в виде графиков зависимости и приведены на рис. 4.

Представленные в виде графиков результаты показывают, что спектральная плотность мощности вертикального виброускорения варианта с усилением снизились до 25,6 %, при этом увеличение частоты колебаний достигло 12 % в сопоставлении с базовым вариантом кузова.

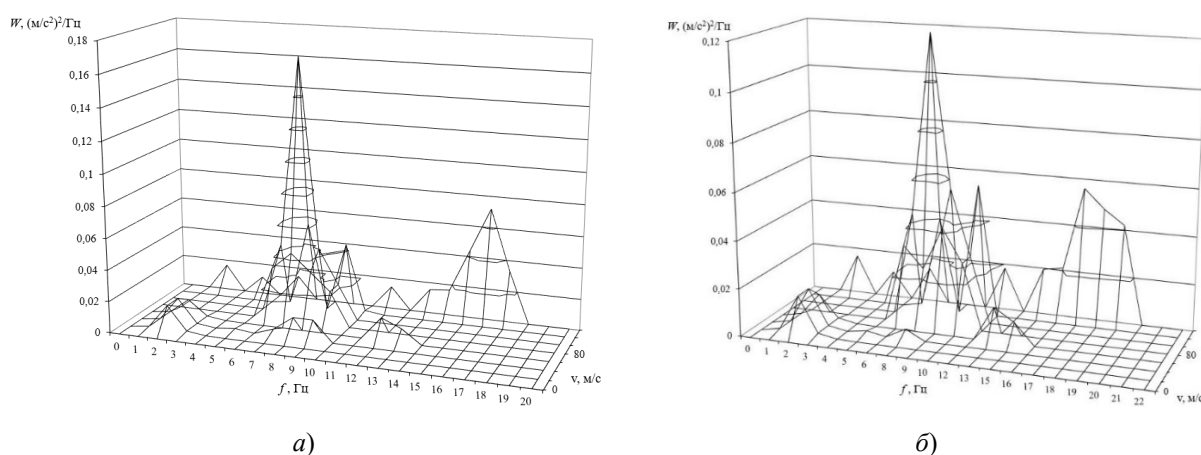


Рис. 4. Зависимости спектральной плотности мощности вертикального виброускорения от частоты колебаний кузова в среднем сечении на уровне пола:

a – базовый вариант; *б* – вариант с усиленной конструкцией

Fig. 4. Dependences of the spectral power density of vertical vibration acceleration on the frequency of vibrations of the body in the middle section at floor level:

a – basic version; *b* – version with supported construction

В результате оценки принятого варианта усиления несущей конструкции подтверждается его эффективность и работоспособность. В этой связи усиление, которое предусматривает установку двух несущих перегородок, связанных между собой продольными элементами, рекомендуется к дальнейшему исполнению в новых конструкциях кузовов пассажирских вагонов.

Проведенные исследования требуют внесения дополнительных операций в технологию изготовления кузова пассажирского вагона.

На первом этапе происходит сборка крупногабаритных узлов, таких как крыша, рама, боковые и торцевые стены, тамбурные

простенки, а также введенные в качестве дополнительных элементов жесткости поперечные перегородки [11]. Производство чаще всего имеет локальную механизацию отдельных работ, которое предусматривает широкое использование цеховых кранов. Все плоские узлы кузова, включая дополнительные перегородки собираются и свариваются на специализированных стендах. Они обслуживаются сварочной машиной и двумя сборочными порталами. Чтобы обеспечить работу без простоя при работе сварочной машины на одном из стендов, на втором происходит сборка следующего узла. По фиксаторам на стенд укладывается обшивка. После чего выполняется раскладка подкрепляющих элементов, а также

дополнительных жесткостных элементов гнутого зетового профиля при помощи соответствующей сборочной скобы, которая осуществляет их прихватку и прижим. Такие узлы, как поперечные перегородки не имеют обшивки, поэтому на стенде происходит раскладка их подкрепляющих элементов, проектное положение которых задаются механизмами пневмоцилиндров, поворотами коромысел и упоров. Предварительный изгиб под сварку элементов к обшивке создают прижимы и пневмоцилиндры. После постановки прихваток пневмоцилиндры выключают и сборочный портал перемещают в новое положение.

Сварку обшивки с подкрепляющими элементами необходимо выполнять с помощью портальной контактной точечной машины с двухсторонним подводом тока, поэтому плоские

узлы, собранные на прихватках с помощью подъемных опор, поднимают под поверхность сборочного стенда.

Во время сварки продольных точечных швов, машина с тремя контактными точками движется вдоль стенда по рельсовым направляющим, а для сварки поперечных швов верхний и нижний сварочные агрегаты синхронно перемещаются относительно портала.

В тоже время отличие от плоских узлов вагона (боковые стены, настил пола, перегородки) крыша имеет корытообразную конструкцию, имеющую подкрепляющий набор в виде зетового сечения. Крыши вагонов при производстве монтируют из секций трех типовых размеров длиной по 4,5 м, изготавливаемых в одной поточной линии (рис. 5).

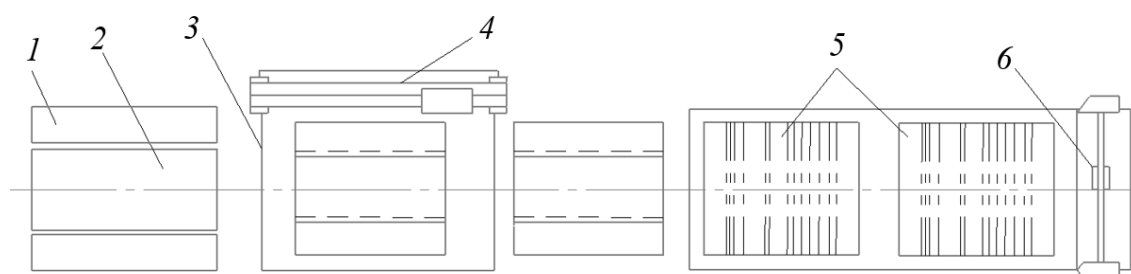


Рис. 5. Схема поточной линии сборки и сварки секций крыши

Fig. 5. Diagram of the assembly line and welding of roof sections

На столе стенда 3 собирается обшивка секции. Средний элемент 2 и два элемента округлений 1 укладываются по фиксаторам. При помощи дуговой сварки нахлесточные соединения тонкостенных элементов сваривают угловым швом. Передвижной портал 4 с пневмоприжимами обеспечивает прижатие кромок нахлестки к медной прокладке, а также способствует направлению сварочной головки вдоль шва. Сборка и сварка разных по конструкции секций (крайней, головной и двух средних) выполняется в стапеле 5. С помощью медных шин дуги штапеля размещаются дуги крыши и дополнительные жесткостные элементы гнутого зетового профиля и прижимаются пневмоцилиндрами.

Сверху накладывают обшивку и приваривают ее к остальным элементам односторонней контактной сваркой парными точками. Перемещаясь от дуги к дуге, портальная

машина 6 имеет точную установку и фиксацию. Подвижная двухэлектродная головка перемещается вдоль по криволинейным направляющим портала. Секции крыши на стапеле можно собирать и сваривать независимо друг от друга, т. е. в то время, как первую секцию собирают, вторую сваривают, а готовую третью снимают со стапеля.

Местную жесткость листовой обшивки необходимо увеличить за счет создания гофров. При этом повысится устойчивость тонколистовых элементов под нагрузкой и снижается их коробление от сварки. Соединения обшивки с элементами жесткости выполнять точечной контактной сваркой. При сварке обшивки с элементами жесткости использовать портальную контактную точечную машину с двусторонним подводом тока.

Кузов пассажирского вагона собирается блочным способом из готовых узлов. Технологическая схема сборки усиленной конструкции кузова пассажирского вагона представлена на рис. 6.

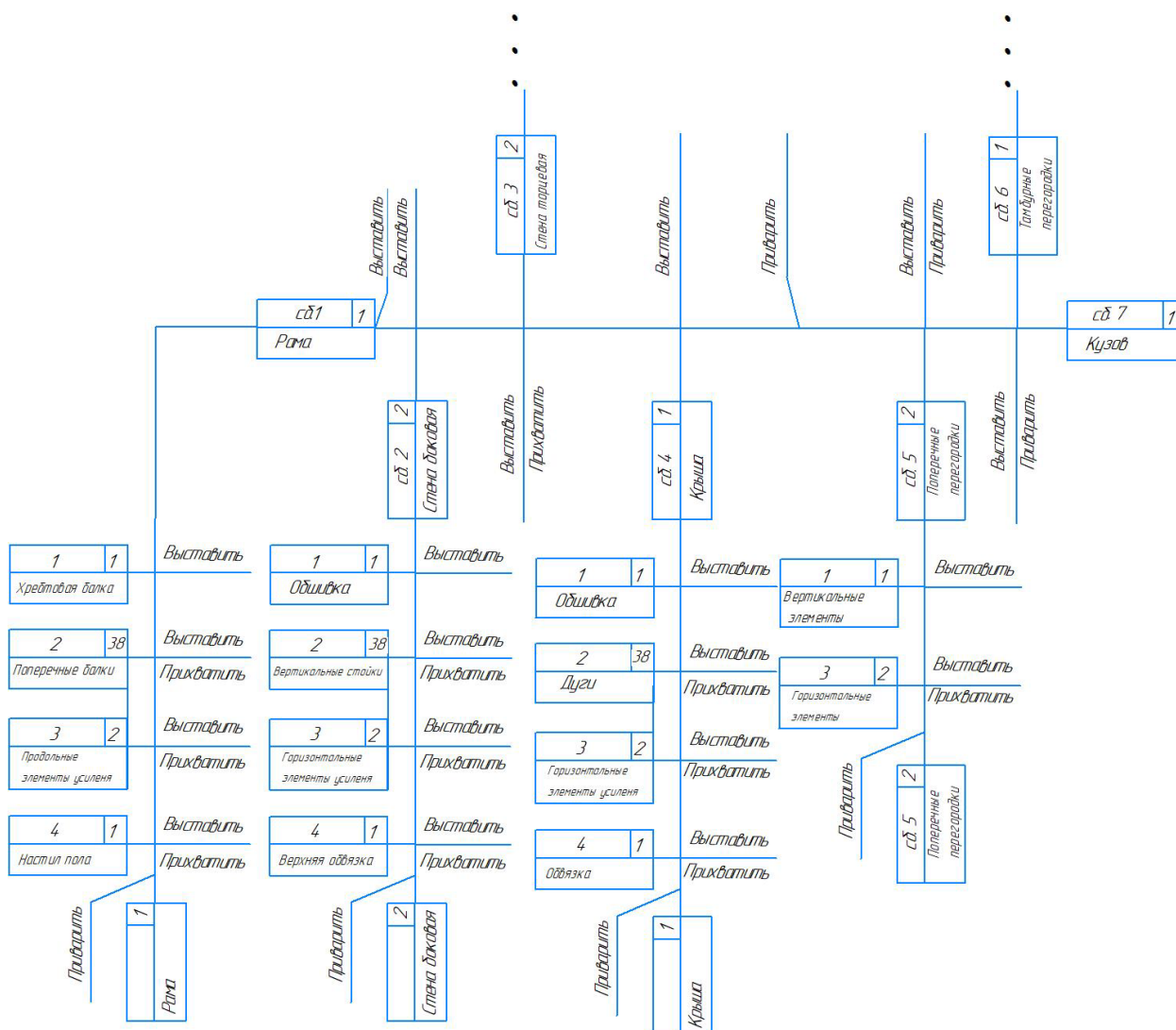


Рис. 6. Схема сборки усиленной конструкции кузова

Fig. 6. Assembly diagram of strengthened body design

При сборке базовым узлом выступает рама. Ее устанавливают на технологические тележки и выравнивают с помощью подъемных домкратов в горизонтальной плоскости. Боковые стены выставляют в вертикальном положении и закрепляют с использованием прижимных устройств. Далее устанавливаются торцевые стены, поджимаемые к концевым балкам рамы. Торцевые, боковые стены и раму совмещают по стыкам и прихватывают электродуговой сваркой. Последним установочным узлом является крыша, которую совмещают с верхней обвязкой боковых стен и торцевыми стенами. После устранения зазоров между основными узлами кузова, его подают на позицию сварки. В качестве перспективного

способа сварки рекомендуется использовать дуговую сварку порошковой проволокой. Последовательное наложение швов снизит возможность появления сварочных деформаций и искажения геометрических размеров конструкции. Сварочные работы внутри кузова выполняются полуавтоматической сваркой среде углекислого газа.

В сваренный кузов устанавливаются ранее собранные две дополнительные несущие перегородки, а также тамбурная, которые также приваривают полуавтоматической сваркой среде углекислого газа к основным узлам.

Основные несущие элементы кузовов выполняются из нержавеющей сталей. Они не подвергаются термической обработке потому

не требуют никакой предварительной подготовки к сварке. В серийном производстве вагонов для деталей из холоднокатаной стали подготовка поверхности не влияет на процесс сварки, но снижает износ электродов, поэтому необходимо произвести очистку поверхностей от жира и др. загрязнений. Обезжиривание поверхности выполнять специальным раствором на основе трихлорэтилена. Деталь необходимо окунуть в данный раствор на 3,0...5,0 мин, можно больше в зависимости от загрязнения. После высыхания поверхностей, можно приступить к сварке.

Кроме того, в процессе производства пассажирских вагонов широко используют болтовые соединения. Их контактное взаимодействие также оказывает влияние на общую жесткость кузова. Однако в представленной работе изменение технологического процесса обработки данных поверхностей рассмотрено не было и является темой дальнейших исследований.

В связи с этим описанный технологический процесс вносит незначительные изменения в технологию изготовления основных узлов кузова пассажирского вагона, при этом необходимости в создании дополнительных производственных линий сборки нет. Сборка новых элементов может происходить на уже имеющемся технологическом оборудовании.

Заключение

Предложенный вариант усиления конструкции кузова пассажирского вагона путем введения двух несущих перегородок на расстоянии 1/3 длины рамы, связанных между собой продольными элементами, расположенными на крыше, раме и боковых стенах кузова, является наиболее эффективным из рассмотренных и позволяет при незначительном увеличении массы кузова повысить жесткость кузова до 8,92 Гц и снизить максимальные напряжения, действующие в зонах усиления до 167,2 Мпа.

Установлено что предложенный вариант усиления является эффективным и работоспособным, поэтому рекомендуется к дальнейшему исполнению в новых конструкциях кузовов пассажирских вагонов.

Разработан технологический процесс сборки кузова с усиленной конструкцией.

Представлена его технологическая схема сборки.

Изменение технологического процесса производства кузова пассажирского вагона от внедрения новых элементов не потребует создания дополнительных производственных линий, их можно выполнить на имеющемся оборудовании. Использование портальной контактной точечной машины с двухсторонним подводом тока позволит обеспечить качество технологического процесса сборки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Фундаментальные** основы технологического обеспечения и повышения надежности изделий машиностроения / под ред. А.Г. Сулова. М.: Иновационное машиностроение, 2022. 552 с.
2. **Сулов А.Г.** Технология машиностроения: учебник для студентов. 2-е изд. Перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2007. 430с.
3. **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.
4. **Светлов В.И.** Технические решения по механике пассажирских вагонов. Методы обоснования. М.: Глобус, 2002. 200 с.
5. **Сулов А.Г.** Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320с.
6. **Горохова М.В.** Динамическая жесткость пластин с вырезами // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2004. № 10. С. 11–14.
7. **Справочник** технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т.2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение-1, 2003. 944с.
8. **Антипин Д.Я., Лукашова Е.В., Болдырев А.П., Лозбинев Ф.Ю.** Обоснование конструктивных решений по повышению жесткости несущей конструкции кузова пассажирского вагона // Транспортное машиностроение. 2023. № 5. С. 60–68. DOI: <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2023-5-60-68>
9. **Гончаров П.С., Артамонов И.А., Халитов Т.Ф., Денисихин С.В., Сотник Д.Е.** NX Advanced Simulation. Практическое пособие. М.: МДК Пресс. 2014. 112 с.
10. **Антипин Д.Я., Лукашова Е.В., Болдырев А.П., Лозбинев Ф.Ю.** Совершенствование методики оценки вибрационной нагруженности кузова пассажирского вагона // Транспортное машиностроение. 2023. № 4 (16). С. 39–46.
11. **Технология** производства и ремонта вагонов: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / К.В. Мотовилов, В.С.

Лукашук, В.Ф. Криворудченко, А.А. Петров; под ред. К.В. Мотовилова. М.: Маршрут, 2003. 382 с.

12. **Теория** и технология контактной сварки: учебное пособие / Р.Ф. Катаев, В.С. Милютин, М.Г. Близник. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 144 с.

REFERENCES

1. Fundamental principles of technological support and reliability improvement of mechanical engineering products / ed. by A.G. Suslov. Moscow: Innovatsionnoe mashinostroenie, 2022, 552 p.

2. Suslov A.G. Technology of mechanical engineering: textbook for students. 2nd ed. Updated and revised. Moscow: Mashinostroenie, 2007, 430 p.

3. Vibrations in technology: handbook in 6 volumes, vol. 6. Protection from vibration and shocks / V. K. Astashev, V. I. Babitsky, I. I. Bykhovsky, et al; edited by K. V. Frolov. Moscow: Mashinostroenie, 1995, 456 p.

4. Svetlov V.I. Technical solutions for the mechanics of passenger cars. Methods of justification. Moscow: Globus, 2002, 200 p.

5. Suslov A.G. The quality of the surface layer of machine parts. Moscow: Mashinostroenie, 2000, 320 p.

6. Gorokhova M.V. Dynamic stiffness of notched plates // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport, 2004, No. 10, pp. 11–14.

7. Handbook of a machine-building technologist, in 2 volumes, vol.2 / Edited by A.M. Dalsky, A.G. Suslov, A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakova. Moscow: Mashinostroenie-1, 2003, 944 p.

8. Antipin D.Ya., Lukashova E.V., Boldyrev A.P., Lozbinev F. Yu. Substantiation of constructive solutions to increase the rigidity of the supporting structure of the passenger car body // Transport machine building, 2023, No. 5, pp. 60–68. DOI: <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2023-5-60-68>

9. Goncharov P.S., Artamonov I.A., Khalitov T.F., Denisikhin S.V., Sotnik D.E. NX Advanced Simulation. Practical guide. Moscow: MDK Press, 2014, 112 p.

10. Antipin D.Ya., Lukashova E.V., Boldyrev A.P., Lozbinev F.Yu. Improving the methodology for assessing the vibration load of the passenger car body // Transport engineering, 2023, No. 4 (16), pp. 39–46.

11. Technology of production and repair of wagons: Textbook for universities of railway transport / K.V. Motovilov, V.S. Lukashuk, V.F. Krivoruchenko, A.A. Petrov; edited by K.V. Motovilov. Moscow: Marshrut, 2003, 382 p.

12. Theory and technology of contact welding: a textbook / R.F. Kataev, V.S. Milyutin, M.G. Bliznyuk. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural University, 2015, 144 p.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.12.2023; одобрена после рецензирования 25.12.2023; принята к публикации 09.01.2024.

The article was submitted 08.12.2023; approved after reviewing 25.12.2023; assepted for publication 09.01.2024.