



# Способы управления параметрами вибрации пассажирских вагонов



Александр СКАЧКОВ  
Alexander N. SKACHKOV

Сергей САМОШКИН  
Sergey L. SAMOSHKIN



Андрей ЗАЙЦЕВ  
Andrey V. ZAYTSEV

*Скачков Александр Николаевич – кандидат технических наук, директор ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения», Тверь, Россия.*  
*Самошкин Сергей Львович – доктор технических наук, начальник управления Тверского института вагоностроения, Тверь, Россия.*  
*Зайцев Андрей Валентинович – заведующий лабораторией Тверского института вагоностроения, Тверь, Россия.*

## Methods for Controlling Vibration Parameters of Passenger Coaches

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 68)

**Когда вагоностроительный завод в Твери начал серийный выпуск пассажирских вагонов нового поколения, его специалистам пришлось столкнуться с фактами не всегда оправданной модификации, казалось бы, уже и без того более комфортных и безопасных конструкций. В частности, обнаружилось ослабление вибрационных параметров при постройке вагонных салонов, баров, лабораторий. Дано обоснование возможности уменьшения показателей вибрации вагона-салона за счёт увеличения изгибной жесткости кузова и подбора наиболее рационального вертикального демпфера центрального подвешивания.**

*Ключевые слова:* железная дорога, вагоностроение, вагон-салон, вибрация, плавность хода, изгибная жесткость, проектирование, испытания, управление параметрами.

**В** начале XXI века Тверской вагоностроительный завод разработал конструкции и приступил к серийному выпуску пассажирских вагонов нового поколения с обшивкой кузова из нержавеющей сталей и сроком службы 40 лет (старые модели имеют срок службы 28 лет). Все вагоны нового поколения предназначены для перевозки пассажиров и обслуживания персонала на электрифицированных и неэлектрифицированных участках железных дорог колеи 1520 мм со скоростями движения до 160 км/ч.

Купейный вагон модели 61–4440 считается базовым. Он изготавливается в двух вариантах – на 36 спальных мест в четырехместном исполнении и на 18 спальных мест в двухместном исполнении купе.

Вагон модели 61–4445 относится к купейным штабным. В нем имеются специализированное купе и туалет для проезда инвалида с сопровождающим лицом. Вагон оборудован подъёмником для инвалидов колясок, а также всеми устройствами и системами, необходимыми для штабного ва-

гона. Всего здесь 26 спальных мест для пассажиров.

Вагон модели 61–4447 – пассажирский некупейный (плацкартный). В нем пассажирское помещение разделено поперечными перегородками на 9 шестиместных отсеков, что дает 54 спальных места.

Вагон модели 61–4458 является пассажирским с местами для сидения. Количество мест 60 в вагоне со стандартным интерьером (2 + 2) и 40 для вагона с улучшенным интерьером (2 + 1).

Вагон-ресторан модели 61–4460 имеет 32 пассажирских места в салоне и четыре – в баре.

Кузова всех вагонов модельного ряда представляют собой цельнометаллическую несущую конструкцию типа замкнутой оболочки с регулярными вырезами в боковых стенах для окон и дверей, а также с люками в крыше для установки оборудования (кондиционера, бака для воды и котла).

Хребтовая балка рамы на консолях и в шкворневых зонах выполнена из двух швеллеров 30В, в средней части из одного двутавра 30Б2. Буферные брусья изготовлены из швеллера 30В. Шкворневые балки коробчатого сечения: вертикальные листы толщиной 6 мм, верхний и нижний листы – 8 мм. Поперечные балки в переходных зонах от швеллеров к двутавру представляют собой гнутые профили переменного сечения толщиной 6 мм. Остальные поперечные балки – гнутые швеллеры 100 × 60 × 4 мм и 100 × 60 × 5 мм. В конструкции продольных балок (нижних обвязок) рамы использован уголок 100 × 100 × 8 мм. Материал рамы – сталь 09Г2С.

Настил пола в средней части состоит из гофрированных листов толщиной 1,5 мм, на консолях – из плоских листов 2,5 мм.

Для изготовления боковых стен вагона применяется нержавеющая сталь. В ниж-

нем поясе однослойная обшивка – гофрированный профиль толщиной 2 мм с четырьмя широкими гофрами, имеющими следующие геометрические размеры: высота – 14 мм, ширина у основания – 120 мм, ширина у вершины – 95 мм. Обшивка подкреплена набором продольных и поперечных элементов (над- и подоконные стрингеры, обвязки, стойки).

Крыша кузова выполнена из нержавеющей стали. Средняя часть крыши – прокатные гофрированные листы толщиной 1,5 мм, скаты крыши – плоские листы 2 мм.

Конструкции в полной мере отвечают требованиям санитарных норм по освещенности, эргономике, микроклимату, шуму и вибрациям, требованиям безопасности, а также на отделочные и облицовочные материалы.

Вагоны всех моделей оборудуются безлюлучными тележками с дисковыми тормозами моделей 68–4095 для нетормозного конца вагона и 68–4096 – для тормозного конца. Всё внутривагонное и подвагонное оборудование практически однотипное (кроме вагона-ресторана). Вагоны модельного ряда проходили приемочные испытания и неоднократно сертифицировались на соответствие требованиям ТР ТС 001/2011 [1] и стандарта [4]. Испытания проводились с использованием современных методов, принятых для обязательной сертификации [2, 3].

В последнее время на базе купейного вагона модели 61–4440 ряд организаций разработали и изготовили вагоны-салоны. Отличительной их особенностью является уменьшение количества поперечных и продольных перегородок, что приводит к уменьшению нагрузки на плавающий пол и снижению количества контактируемых внутренних поверхностей. Такая перепланировка снижает рассеивание энергии колебаний внутри технической системы

**Таблица 1**  
**Варианты испытаний вагона-салона на базе купейного вагона модели 61–4440**

№ варианта	Диапазон скоростей, км/ч	Дизель-генератор	Усиление рамы вагона	Примечание
1	40–120	Установлен	Нет	–
2	40–120	Демонтирован	Нет	–
3	40–120	Установлен	Да	Рама вагона усилена продольными балками



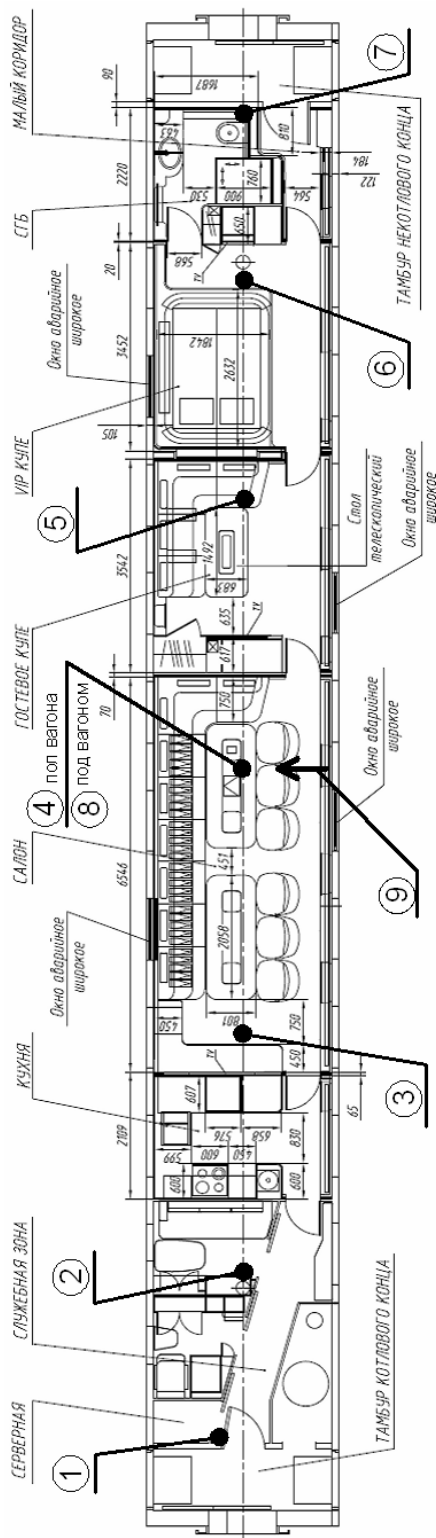


Рис. 1. Планировка и схема расстановки акселерометров в помещениях вагона-салона на базе купейного вагона модели 61–4440. ● – акселерометры 1–7, фиксирующие виброускорение в вертикальном направлении и установленные на полу вагона; ↑ – акселерометр 9, фиксирующий виброускорение в поперечном направлении и установленный на боковине вагона; ① – нумерация зон установки акселерометров.

(пассажира вагона) и изгибную жесткость кузова. Кроме того, в вагонах-салонах устанавливается, как правило, дополнительное металлоёмкое оборудование (дизель-генераторные установки, топливные баки, системы спутниковой связи и т.д.), что неблагоприятно влияет на уровень вибрации кузова и сказывается на уровне комфорта пассажиров [5].

В 2014–2016 годах Тверской институт вагоностроения провел исследования, направленные на устранение повышенной вибрации в помещениях вагонов-салонов [6].

ПКТБ по вагонам ОАО «РЖД» (г. Москва) на базе модели 61–4440 спроектировало вагон-салон, планировка которого приведена на рис. 1. В этом вагоне значительно изменена планировка, убраны две поперечные перегородки в салоне и по одной в гостевом купе и VIP-купе. Под вагоном в центральной зоне подвешен дизель-генератор массой около 750 кг и бак для топлива вместимостью 250 л.

При проведении испытаний вагона-салона в его отдельных помещениях снова наблюдался повышенный уровень вибрации. Для ее устранения было разработано и реализовано усиление центральной части рамы дополнительными продольными балками. Кроме того, при проведении пробных испытаний оценивалось влияние подвешенного дизель-генератора. В совокупности вагон-салон испытывался в трёх различных вариантах, приведенных в таблице 1.

Усиление рамы вагона демонстрирует рис. 2.

В соответствии с целью испытаний для определения величин максимальных, среднеквадратичных значений (СКЗ) виброускорений в диапазоне частот от 0,5 до 40 Гц и показателей плавности хода был сформирован опытный поезд. Работы проводились на участке магистральных путей Октябрьской железной дороги от ст. Тверь до ст. Москва. Испытуемый вагон, установленный на безлючные тележки моделей 68–4095 и 68–4096, находился в середине состава и был отделен от локомотива и конца состава вагонами прикрытия.

Испытания шли с применением шумо-виброметрического комплекса «Экофизика» с акселерометрами типа AP 2082M и измерительного усилителя MGCplus



Рис. 2. Рама вагона, усиленная продольными балками.

Таблица 2

**Среднеквадратичные уровни вертикальных виброускорений в зоне установки акселерометра 4 (середина – пол вагона)**

Скорость, км/ч	Частотные полосы, Гц	Допускаемые значения, м/с <sup>2</sup>	№ варианта		
			1	2	3
80	8,0	0,11	0,31	0,22	0,08
100	8,0	0,11	0,26	0,25	0,11
	10,0	0,14	0,23	0,22	0,13
120	8,0	0,11	0,14	0,18	0,09
	10,0	0,14	0,18	0,19	0,12

Таблица 3

**Показатели плавности хода в вертикальном направлении при различных скоростях в зоне установки акселерометра 4**

Скорость, км/ч	Допускаемое значение	№ Варианта		
		1	2	3
80	3,25	2,67	2,51	2,49
100		2,69	2,61	2,52
120		2,66	2,59	2,47

с акселерометрами типа ARF-10A. Оборудование поверено в установленном порядке. Методика испытаний выбрана в соответствии с [2].

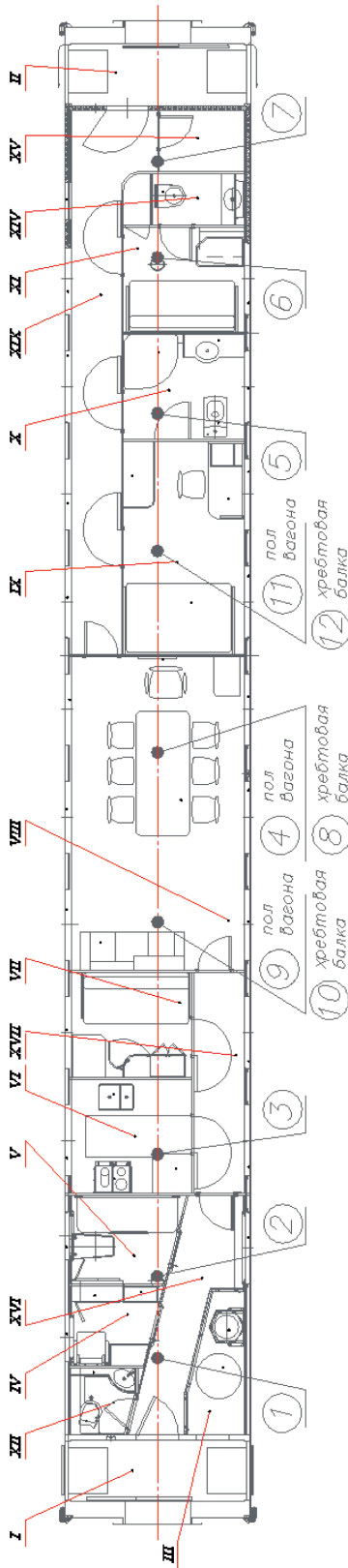
Оценка динамических характеристик вагона проводилась в диапазоне скоростей движения 40–120 км/ч путем замеров виброускорений акселерометрами, установленными в семи зонах внутри вагона по полу, как показано на рис. 1. Продолжительность измерений в каждой зоне и на каждой скорости составляла не менее 200 с. При необходимости суммарное время из-

мерений разбивалось на интервалы меньшей длительности.

В таблице 2 приведены среднеквадратичные уровни виброускорений в вертикальном направлении в проблемной зоне – месте установки акселерометра 4 (середина – пол вагона) для третьоктавных частотных полос и скоростей, на которых фиксировались превышения. В таблице указаны и допускаемые значения среднеквадратичных уровней виброускорений в соответствии с [7]. Заметим, что для остальных частотных полос и скоростей



Внутренняя планировка вагона модели 61-4485



- I Тамбур тормозного конца вагона
- II Тамбур нетормозного конца вагона
- III Котельное отделение
- IV Службное отделение
- V Кухня отделе проводников, связь и видеонаблюдения
- VI Кухня купе
- VII Кухня пассажирское 2-местное (рефрешка)
- VIII Салон
- IX Кухня-кабинет главного пассажира
- X Туалетная комната главного пассажира
- XI Кухня пассажирское 2-местное
- XII Туалет общего пользования тормозного конца вагона
- XIII Туалетная комната гостевого купе
- XIV Пассажирская комната (подсобное помещение)
- XV Коридор тормозного конца вагона
- XVI Мальский коридор
- XVII Коридор нетормозного конца вагона
- XVIII Туалетная комната гостевого купе
- XIX Пассажирское 2-местное
- 1 акселерометр
- 2 акселерометр
- 3 акселерометр
- 4 акселерометр
- 5 акселерометр
- 6 акселерометр
- 7 акселерометр
- 8 хребтовая балка
- 9 хребтовая балка
- 10 хребтовая балка
- 11 хребтовая балка
- 12 хребтовая балка

Рис. 3. Планировка и схема расположения акселерометров при проведении пробных испытаний. • – акселерометры 1–7, 9, 11, фиксирующие ускорение в вертикальном направлении и установленные на полу вагона (акселерометры 8, 10, 12 фиксируют ускорение хребтовой балки); ① – нумерация зон установки акселерометров.

Варианты испытаний вагона-салона модели 61–4485

№ варианта	Диапазон скоростей, км/ч	Маршрут следования	Усиление рамы вагона	Примечания
1	50–120	Москва–Петербург	Нет	–
2			Да	Рама вагона усилена продольными балками
3			Да	Рама вагона усилена продольными балками. Была произведена замена вертикальных и горизонтальных гидравлических гасителей центрального подвешивания фирмы Sachs на гасители фирмы ЗАО «Вагонкомплект»

превышения допускаемых значений не зафиксировано.

Из таблицы 2 видно, что доработка вагона по 3-му варианту (рама вагона усилена продольными балками (рис. 2)) обеспечивает снижение наибольших максимальных величин вертикальных виброускорений в проблемной центральной части вагона (зона установки акселерометра 4) до уровня ниже допускаемых значений при скоростях движения опытного состава 80, 100 и 120 км/ч.

Таким образом, для вагона-салона, изготовленного на базе пассажирского купейного вагона модели 61–4440, задача по снижению уровня виброускорений была решена путем отстройки от резонанса за счет увеличения изгибной жесткости кузова.

Дополнительно при проведении пробных испытаний вагона определялся показатель плавности хода. В таблице 3 приведены полученные показатели плавности хода в зоне установки акселерометра 4.

Анализируя таблицу 3, можно отметить следующие результаты, которые можно будет использовать в дальнейших работах по управлению вибрационными характеристиками пассажирских вагонов, а именно:

- установка дизель-генератора на усиленную раму вагона увеличивает (ухудшает) показатель плавности хода до 7 % (следует из анализа результатов по вариантам испытаний № 1 и № 2);

- усиление рамы вагона уменьшает (улучшает) показатель плавности хода до 8 % (следует из анализа результатов по вариантам испытаний № 1 и № 3).

На базе купейного вагона модели 61–4440 был разработан и изготовлен ва-

гон-салон модели 61–4485. При проведении испытаний в нем отмечен повышенный уровень вибрации в отдельных помещениях. На рис. 3 показана планировка вагона-салона. Видно, что убраны поперечные перегородки в салоне (2 шт.) и купе-кабинете (1 шт.). Кроме того, «разорвана» продольная перегородка большого коридора. От котлового конца вагона до салона продольная перегородка расположена вдоль котловой боковины. От салона до нетормозного конца вагона продольная перегородка расположена вдоль некотловой боковины.

На этапе подготовки рекомендаций по устранению повышенной вибрации в отдельных помещениях вагона-салона модели 61–4485, оборудованного тележками безлюлочного типа моделей 68–4095 и 68–4096 с дисковыми тормозами, круг исследований был расширен по сравнению с вагоном-салонем, изготовленным на базе серийного купейного вагона модели 61–4440.

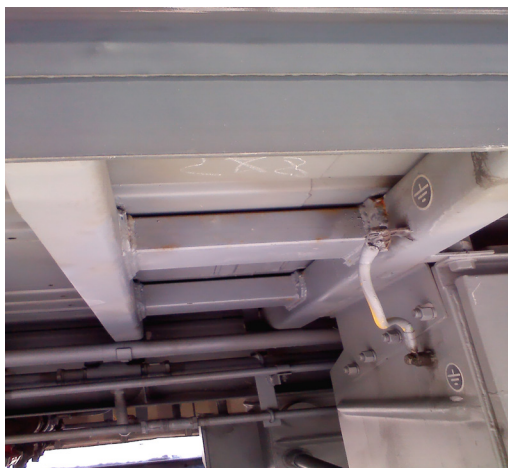
Для решения поставленных вопросов был проведен ряд ходовых динамических испытаний на различных направлениях с последовательной доработкой кузова и подбором наиболее рационального вертикального демпфера центрального подвешивания. Оценка динамических характеристик вагона осуществлялась в диапазоне скоростей движения от 50 до 120 км/ч с шагом 10 км/ч. Схема установки акселерометров показана на рис. 3, а в таблице 4 приведены маршруты следования и варианты модернизации вагона-салона.

Поначалу было произведено усиление рамы вагона в средней части продольными элементами. По мере проведения поездок



**Среднеквадратичные уровни вертикальных виброускорений в проблемных зонах вагона-салона модели 61–4485**

Скорость, км/ч	Частотные полосы, Гц	Допускаемые значения, м/с <sup>2</sup>	№ варианта		
			1	2	3
80	8,0	0,11	0,38	0,11	0,04
	10,0	0,14	0,06	0,09	0,03
90	8,0	0,11	0,66	0,16	0,10
	10,0	0,14	0,06	0,08	0,04
100	8,0	0,11	0,16	0,07	0,05
	10,0	0,14	0,28	0,13	0,09
110	8,0	0,11	0,17	0,10	0,06
	10,0	0,14	0,28	0,14	0,08
120	8,0	0,11	0,13	0,05	0,04
	10,0	0,14	0,25	0,14	0,09



**Рис. 4. Рама вагона, усиленная продольными балками.**

и измерения вибрации число усиливающих продольных элементов увеличивалось и в конечном итоге общее усиление вылилось в четыре составные продольные балки, две из которых расположены около продольных обвязок, а две другие около двутавра средней части составной хребтовой балки. На рис. 4 демонстрируется элемент рамы вагона, усиленный продольными балками.

Результаты испытаний при различных скоростях по определению среднеквадратичных уровней вертикальных виброускорений в проблемных зонах приведены в таблице 5, а показатели плавности хода в вертикальном направлении в таблице 6.

Оценивая результаты работы по вагону-салону модели 61–4485, можно отметить, что задача по снижению уровней виброускорений решена путем отстройки от ре-

зонанса за счёт изменения характеристик системы (увеличения изгибной жесткости кузова) и оптимизации рессорного подвешивания за счёт установки наиболее оптимальных демпферов для отечественных железных дорог. На рис. 5 приведены средние уровни вибрации, полученные при исполнении вагона-салона по варианту № 3 таблицы 4.

### **Выводы**

При изготовлении вагонов других типов (салонов, баров, лабораторий) на базе серийных купейных пассажирских вагонов возможно увеличение виброускорений по сравнению с требованиями нормативных документов. Основной причиной является коренная перепланировка внутренних помещений вагона (снижение изгибной жесткости кузова) и установка дополнительного материалоемкого внутривагонного и подвагонного оборудования.

Как показали испытания, устранение в таких вагонах повышенной вибрации является дорогостоящим и длительным по времени мероприятием. В связи с этим разработка методов управления параметрами изгибных колебаний и вибрационными параметрами кузовов пассажирских вагонов становится актуальной задачей. При этом искомый метод должен охватывать все этапы создания вагонов, включая подготовку конструкторской документации, изготовления и испытаний опытных образцов, передачи их в производство.

Для моделей вагонов, производство которых осуществляется на основе базовой модели 61–4440, при внедрении методов

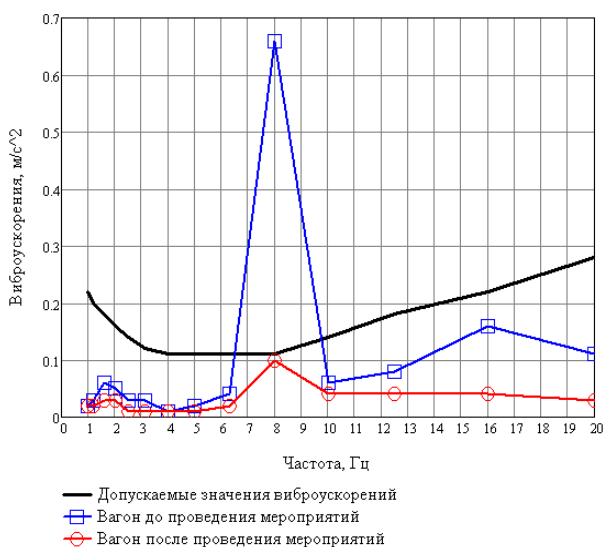


Рис. 5. Средние уровни вибрации при скорости движения опытного вагона 90 км/ч (зона установки акселерометра 9 на рис. 3).

Показатели плавности хода в вертикальном направлении при различных скоростях вагона-салона модели 61–4485

Таблица 6

Скорость, км/ч	Допускаемое значение	№ варианта		
		1	2	3
50	3,25	2,33	2,23	2,10
60		2,34	2,25	2,11
70		2,49	2,29	2,12
80		2,68	2,34	2,13
90		2,82	2,40	2,19
100		2,63	2,35	2,18
110		2,68	2,41	2,21
120		2,63	2,42	2,23

управления виброускорениями в первую очередь необходимо предусмотреть методику расчета собственных частот и форм вертикальных изгибных колебаний кузова с учётом деформации контура поперечного сечения кузова и расположения наиболее материалоемкого внутривагонного и подвагонного оборудования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ТР ТС 001/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава». – Минск: Бел. ГИИС, – 2012. – 46 с.
2. Коршунов С. Д., Самошкин С. Л. Современные методы испытаний железнодорожного подвижного состава, прошедшего ремонт различных объёмов и вновь построенного // Вагонный парк. – 2012. – № 7. – С. 15–18.
3. Коршунов С. Д., Скачков А. Н., Самошкин С. Л., Гончаров Д. И., Жуков А. С. Методика

расчётно-экспериментальных исследований кузовов современного подвижного состава // Известия ПГУПС. – 2015. – № 4. – С. 38–47.

4. ГОСТ Р 55182–2012. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2013. – 24 с.

5. Мейстер В. М. Исследование вибрации пассажирских вагонов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Л., 1967. – 20 с.

6. Скачков А. Н., Зайцев А. В., Гончаров Д. И., Лиференко В. Ю., Казак А. С. Исследование вибрации пассажирских вагонов с открытым салоном // Материалы VI всероссийской научно-практ. конференции «Проблемы и перспективы развития вагоностроения». – Брянск: БГТУ, 2014. – С. 96–98.

7. ОСТ 24.050.16-85. Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода вагона. – М.: ВНИИВ, 1985. – 15 с.

8. СП 2.5.2647-10. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (Изменения и дополнения № 2 к СП 2.5.1198-03) / Постановление Главного государственного санитарного врача РФ, № 68 от 16.07.2010. ●

Координаты авторов: **Скачков А. Н.** – +7 (4822) 55–54–32, **Самошкин С. Л.** – +7 (4822) 79–40–33, **Зайцев А. В.** – labr7@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 14.12.2016, принята к публикации 20.03.2017.







## METHODS FOR CONTROLLING VIBRATION PARAMETERS OF PASSENGER COACHES

**Skachkov, Alexander N.**, CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia.  
**Samoshkin, Sergey L.**, CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia.  
**Zaytsev, Andrey V.**, CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia.

### ABSTRACT

When the car building plant in Tver began serial production of new generation passenger cars, its specialists had to face the facts of not always justified modification of, it would seem, already comfortable and safe designs. In particular, weakened vibration

parameters during the construction of lounge cars, bars, laboratories were found out. The feasibility of reducing the vibration indicators of the lounge car by increasing the bending stiffness of the body and selecting the most rational vertical damper of the central suspension is given.

**Keywords:** railway, car building, lounge car, vibration, smooth running, bending stiffness, design, testing, parameters' control.

**Background.** At the beginning of XX century, Tver Car-Building Plant developed designs and started serial production of a new generation of passenger cars with stainless steel body liner a service life of 40 years (old models have a service life of 28 years). All cars of the new generation are intended for transportation of passengers and maintenance personnel on electrified and non-electrified sections of railways of gauge 1520 mm with speeds of up to 160 km/h.

**Objective.** The objective of the authors is to consider methods for controlling vibration parameters of passenger cars.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, graph construction.

**Results.** The compartment car model 61-4440 is considered as a base car. It is manufactured in two versions – for 36 berths in a four-berth version and for 18 beds in two-berth version of a compartment.

The car model 61-4445 belongs to the compartment staff car. There is a specialized compartment and toilet for the disabled person with an accompanying person. The car is equipped with a lift for wheelchairs, as well as all the devices and systems necessary for the staff car. There are 26 berths for passengers here.

The car model 61-4447 is passenger non-compartment (car with reserved seat). The passenger section divided by transverse partitions into 9 six-berths sections, which gives 54 berths.

The car model 61-4458 is a passenger car with seats. Number of seats in a car with a standard interior (2 + 2) is 60 and for a car with an improved interior (2 + 1) it is 40.

The restaurant car of the model 61-4460 has 32 passenger seats in the cabin and four – in the bar.

The bodies of all the cars of the model range are an all-metal bearing structure of the closed enclosure type with regular cutouts in the side walls for windows and doors, as well as with apertures in the roof for installation of equipment (air conditioning, water tank and boiler).

The center sill of the frame on the consoles and in the pivot zones is made of two channels 30V, in the middle part of one I-beam 30B2. The buffer bars are made of a channel 30V. Pivotal beams of box section: vertical sheets with a thickness of 6 mm, upper and lower sheets – 8 mm. Cross beams in the transition zones from the channels to the I-beam represent curved profiles of variable cross-section with a thickness of 6 mm. The remaining transverse beams are bent channel bars 100 × 60 × 4 mm and 100 × 60 × 5 mm. In the design of the longitudinal beams (bottom rail) of the frame, a 100 × 100 × 8 mm angle section is used. The frame material is steel 09G2S.

The floor covering in the middle part consists of corrugated sheets with a thickness of 1,5 mm, on the consoles – from flat sheets of 2,5 mm.

Stainless steel is used for the side walls of the car. In the lower belt, a single-layer covering is a 2 mm thick corrugated profile with four broad corrugations having the following geometric dimensions: height – 14 mm, width at the base – 120 mm, width at the vertex – 95 mm. Covering is supported by a set of longitudinal and transverse elements (over- and under-wall stringers, binders, racks).

The roof of the body is made of stainless steel. The middle part of the roof is rolled corrugated sheets with a thickness of 1,5 mm, the roof slopes are flat sheets of 2 mm.

The structures fully meet the requirements of sanitary standards for illumination, ergonomics, microclimate, noise and vibrations, safety requirements, as well as for finishing and facing materials.

Cars of all models are equipped with bolsterless bogies with disc brakes of models 68-4095 for the non-brake end of the car and 68-4096 for the brake end. All intra-car and under-car equipment is almost of the same type (except the restaurant car). The cars of the model line passed the acceptance tests and were repeatedly certified for compliance with the requirements of TR CU 001/2011 [1] and standard [4]. Tests were conducted using modern methods adopted for mandatory certification [2, 3].

Table 1

Variants of tests of a lounge car on the basis of the compartment car model 61-4440

№ variant	Speed range, km/h	Diesel generator	Reinforcement of the car frame	Note
1	40-120	Installed	No	–
2	40-120	Dismantled	No	–
3	40-120	Installed	Yes	The car frame is reinforced with longitudinal beams

Recently, on the basis of a compartment car model 61–4440, a number of organizations have developed and manufactured lounge cars. Their distinctive feature is the reduction in the number of transverse and longitudinal partitions, which leads to a reduction in the load on the floating floor and a decrease in the number of internal surfaces to be contacted. This redesign reduces the dispersion of vibration energy within the technical system (passenger car) and bending stiffness of the body. In addition, in the lounge cars, as a rule, additional metal-intensive equipment is installed (diesel generator sets, fuel tanks, satellite communication systems, etc.), which adversely affects the body vibration level and affects the comfort level of passengers [5].

In 2014–2016, Tver Car-Building Institute carried out research aimed at eliminating excessive vibration in the interior of lounge cars [6].

PCTB for cars of JSC Russian Railways (Moscow) on the basis of model 61-4440 designed a lounge car, the layout of which is shown in Pic. 1. This car has a significantly changed layout, two transverse partitions in the cabin and one in the guest compartment and the VIP-compartment were removed. Under the car in the central zone, a diesel generator weighing about 750 kg and a fuel tank with a capacity of 250 liters are suspended.

When testing the lounge car in its separate sections, an increased level of vibration was again observed. To eliminate it, the strengthening of the central part of the frame with additional longitudinal beams was developed and implemented. In addition, during running tests, the influence of a suspended diesel generator was evaluated. In total, the car was tested in three different variants, listed in Table 1.

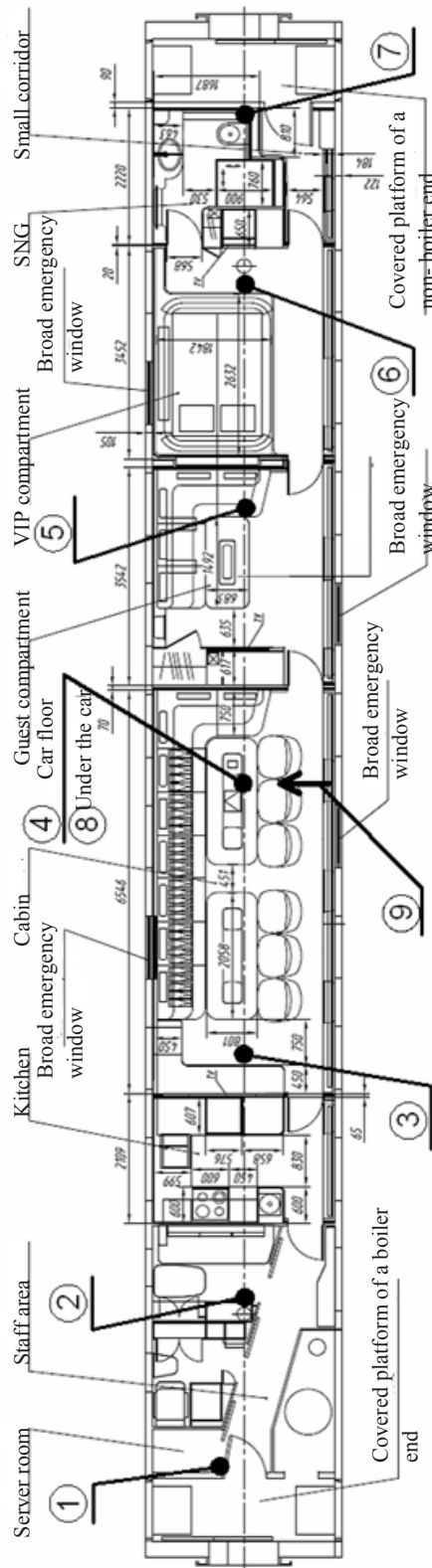
The reinforcement of the car frame is shown in Pic. 2.

In accordance with the purpose of the tests, an experimental train was formed to determine the values of maximum, rms values of vibration acceleration in the frequency range from 0,5 to 40 Hz and the indicators of the smooth run. The works were carried out on the section of the main tracks of the October Railway from station Tver to the station Moscow. The test car, mounted on bolsterless bogies of models 68–4095 and 68–4096, was in the middle of the train and was separated from the locomotive and the end of the train by the cover caps.

The tests were carried out using the noise-vibrometric complex «Ecophysics» with accelerometers of the AR-2082M type and the measuring amplifier MGCplus with accelerometers of the ARF-10A type. The equipment is checked in due course. The test procedure was chosen in accordance with [2].

The evaluation of the dynamic characteristics of the car was carried out in the speed range of 40–120 km / h by measuring vibration acceleration with accelerometers installed in seven zones inside the car along the floor, as shown in Pic. 1. The duration of the measurements in each zone and at each speed was at least 200 s. If necessary, the total measurement time was divided into intervals of shorter duration.

Table 2 shows the root-mean-square levels of vibration acceleration in the vertical direction in the problem zone – the location of the accelerometer 4 (middle–floor of the car) for the one-third octave frequency bands and the speeds at which the excesses were recorded. The table also indicates the permissible values of root-mean-square levels of



**Pic. 1. Layout and scheme of arrangement of accelerometers in the interior of the lounge car on the basis of the compartment car model 61–4440.**  
 • – accelerometers 1–7, fixing vibration acceleration in the vertical direction and mounted on the floor of the car; ↑ – accelerometer 9, fixing vibration acceleration in the transverse direction and mounted on the sidewall of the car; ① – numbering of accelerometer installation zones.



Table 2

**Root-mean-square levels of vertical vibration acceleration in the accelerometer installation zone 4 (middle – floor of the car)**

Speed, km/h	Frequency bands, Hz	Permissible values, m/s <sup>2</sup>	№ variant		
			1	2	3
80	8,0	0,11	0,31	0,22	0,08
100	8,0	0,11	0,26	0,25	0,11
	10,0	0,14	0,23	0,22	0,13
120	8,0	0,11	0,14	0,18	0,09
	10,0	0,14	0,18	0,19	0,12

Table 3

**Indicators of smooth run in the vertical direction at different speeds in the installation area of the accelerometer 4**

Speed, km/h	Permissible value	№ variant		
		1	2	3
80	3,25	2,67	2,51	2,49
100		2,69	2,61	2,52
120		2,66	2,59	2,47

vibration acceleration in accordance with [7]. Note that for other frequency bands and the speed the excess of the allowed values is not fixed.

Table 2 shows that the completion of the car according to the 3<sup>rd</sup> variant (the frame of the car is reinforced with longitudinal beams (Pic. 2)) ensures the reduction of maximum values of vertical vibration acceleration in the problem central part of the car (accelerometer installation zone 4) to a level below the permissible values at speeds of movements of the test train of 80, 100 and 120 km / h.

Thus, for the lounge car manufactured on the basis of the passenger compartment car of the model 61–4440, the task to reduce the level of vibration acceleration was solved by detuning from the resonance due to the increase in bending stiffness of the body.

In addition, during running tests of the car, a smooth run index was determined. Table 3 shows the obtained indicators of smooth run in the accelerometer installation zone 4.

Analyzing Table 3, we can note the following results, which can be used in further work on the

control of the vibration characteristics of passenger cars, namely:

– installation of a diesel generator on a non-reinforced car frame increases (worsens) the smooth run index to 7 % (it follows from the analysis of the results of the test variants № 1 and № 2);

– reinforcement of the car frame reduces (improves) the smooth run indicator to 8 % (follows from the analysis of the results of the test variants № 1 and № 3).

On the basis of the compartment car model 61–4440 lounge car model 61–4485 was developed and manufactured. During the tests, it shows an increased level of vibration in individual sections. Pic. 3 shows the layout of the lounge car. It can be seen that the transverse partitions in the cabin (2 pcs.) and the compartment-cabinet (1 pc.) were removed. In addition, the longitudinal partition of the large corridor was «torn». From the boiler end of the car to the cabin, the longitudinal partition is located along the boiler sidewall. From the cabin to the non-brake end of the car, the longitudinal partition is located along the non-boiler sidewall.

At the stage of preparation of recommendations on elimination of excessive vibration in individual sections of the lounge car of the model 61–4485 equipped with bolsterless bogies models 68–4095 and 68–4096 with disk brakes, the range of studies was expanded in comparison with the lounge car manufactured on the basis of serial compartment car model 61–4440.

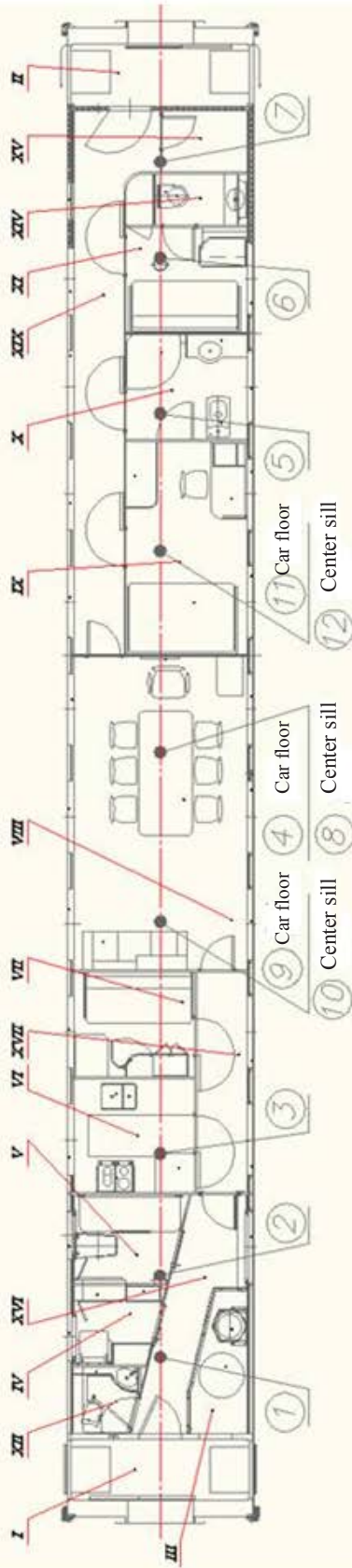
To solve the problems, a number of dynamic running tests were carried out in various directions, with subsequent refinement of the body and selection of the most rational vertical damper of the central suspension. Evaluation of the dynamic characteristics of the car was carried out in the speed range from 50 to 120 km / h in increments of 10 km / h. The scheme of installation of accelerometers is shown in Pic. 3, and Table 4 shows the routes and variants of modernization of the lounge car.

At first, the frame of the car was reinforced in the middle part with longitudinal elements. As the trips and vibration measurements were made, the number



**Pic. 2. Frame of the car, reinforced with longitudinal beams.**

Interior layout of the car model 61-4485



- I – covered platform of the brake end of the car
- II – covered platform of the non-brake end of the car
- III – boiler room
- IV – service room
- V – compartment for rest of conductors, communications and video surveillance
- VI – compartment- kitchen
- VII – 2-seat passenger compartment (referent)
- VIII – parlour
- IX – compartment of the main passenger
- X – toilet room of the main passenger
- XI – 2-seat passenger compartment
- XII – toilet of the general use of the brake end of the car
- XIV – toilet room of the guest compartment
- XV – wardrobe room (utility room)
- XVI – corridor of the brake end of the car
- XVII – small corridor
- XIX – corridor of the non-brake end of the car

**Pic. 3. Layout and diagram of arrangement of accelerometers during running tests.**  
 • – accelerometers 1–7, 9, 11, fixing vibration acceleration in the vertical direction and installed on the floor of the car (accelerometers 8, 10, 12 fixing vibration acceleration of the center sill); ① – numbering of accelerometer installation zones.



Test variants of the lounge car model 61-4485

№ variant	Speed range, km/h	Route	Reinforcement of the car frame	Note
1	50–120	Moscow–St.Petersburg	No	–
2			Yes	Car frame is reinforced with longitudinal beams
3			Yes	Car frame was reinforced with longitudinal beams. Vertical and horizontal hydraulic dampers of central suspension of Sachs company were substituted with the dampers of CJSC «Vagonkomplekt»

Table 5

Root-mean square levels of vertical vibration acceleration in the problem zones of the lounge car model 61-4485

Speed, km/h	Frequency bands, Hz	Permissible values, m/s <sup>2</sup>	№ variant		
			1	2	3
80	8,0	0,11	0,38	0,11	0,04
	10,0	0,14	0,06	0,09	0,03
90	8,0	0,11	0,66	0,16	0,10
	10,0	0,14	0,06	0,08	0,04
100	8,0	0,11	0,16	0,07	0,05
	10,0	0,14	0,28	0,13	0,09
110	8,0	0,11	0,17	0,10	0,06
	10,0	0,14	0,28	0,14	0,08
120	8,0	0,11	0,13	0,05	0,04
	10,0	0,14	0,25	0,14	0,09

of reinforcing longitudinal elements increased and eventually the overall reinforcement resulted in four composite longitudinal beams, two of which are located near the longitudinal binders, and the other two around the I-beam of the middle part of the composite center sill. Pic. 4 shows the element of the car frame, reinforced with longitudinal beams.

The results of tests at different speeds for determining the root-mean-square levels of vertical acceleration in problem zones are given in Table 5, and the indexes of smooth run in the vertical direction in Table 6.

Estimating the results of work on the lounge car model 61–4485, it can be noted that the task of reducing the levels of vibration acceleration is solved by detuning from resonance by changing the characteristics of the system (increasing bending stiffness of the body) and optimizing the spring suspension by installing the most optimal dampers for domestic railways. In Pic. 5 shows the average vibration levels obtained in the performance of a lounge car in accordance with variant № 3 of Table 4.

**Conclusions.** When manufacturing other types of cars (lounges, bars, laboratories) on the basis of serial compartment passenger cars, an increase in

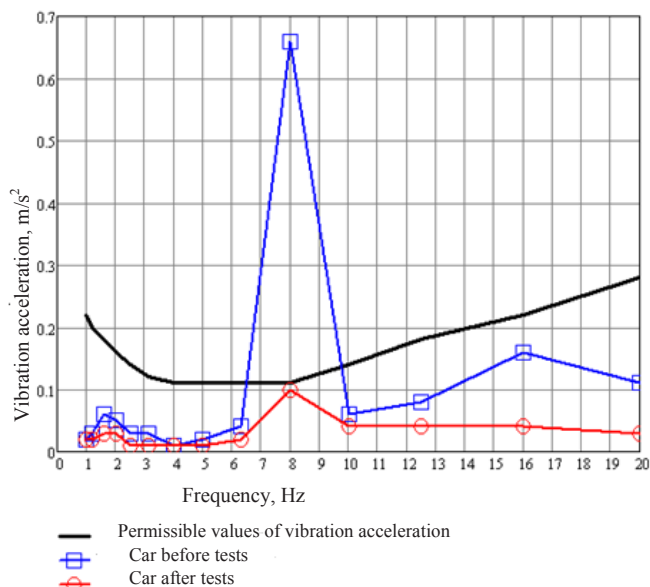


Pic. 4. Car frame reinforced with longitudinal beams.

Table 6

Indicators of smooth run in the vertical direction at various speeds of the lounge car model 61-4485

Speed, km/h	Permissible value	№ variant		
		1	2	3
50	3,25	2,33	2,23	2,10
60		2,34	2,25	2,11
70		2,49	2,29	2,12
80		2,68	2,34	2,13
90		2,82	2,40	2,19
100		2,63	2,35	2,18
110		2,68	2,41	2,21
120		2,63	2,42	2,23



**Pic. 5. Average vibration levels at the speed of the test car of 90 km / h (accelerometer installation zone 9 in Pic. 3).**

vibration acceleration is possible in comparison with the requirements of normative documents. The main reason is the radical redevelopment of the interior of the car (reducing bending stiffness of the body) and the installation of additional material-intensive intra-car and intensive intra- and under-car equipment.

As the tests showed, the elimination of high vibration in such cars is an expensive and time-consuming measure. In connection with this, the development of methods for controlling parameters of bending oscillations and vibration parameters of passenger car bodies becomes an urgent task. Moreover, the required method should cover all stages of the creation of cars, including the preparation of design documentation, the manufacture and testing of prototypes, their transfer to production.

For models of cars that are manufactured on the basis of the basic model 61–4440, when introducing vibration control methods, first of all, it is necessary to provide a procedure for calculating the natural frequencies and forms of vertical bending oscillations of the body, taking into account the deformation of the cross-sectional contour of the body and the location of the most material-intensive intra- and under-car equipment.

## REFERENCES

1. TR CU001/2011 Technical regulations of the Customs Union «On the safety of railway rolling stock» [TR TS001/2011 *Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava»*]. Minsk, Bel. GHS publ., 2012, 46 p.
2. Korshunov, S. D., Samoshkin, S. L. Modern methods of testing the railway rolling stock, which was repaired to various extent and newly built [Sovremennyye

metody ispytaniy zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava, proshedshego remonty razlichnyh ob'emov i vnov' postroennogo]. *Vagonnyj park*, 2012, Iss. 7, pp. 15–18.

3. Korshunov, S. D., Skachkov, A. N., Samoshkin, S. L., Goncharov, D. I., Zhukov, A. S. Technique of computational and experimental studies of the bodies of modern rolling stock [Metodika raschetno-eksperimental'nyh issledovanij kuzovov sovremennogo podvizhnogo sostava]. *Izvestija PGUPS*, 2015, Iss. 4, pp. 38–47.

4. Passenger cars of locomotive traction. General technical requirements [GOST R55182–2012. *Vagony passazhirskie lokomotivnoj tjagi. Obshhie tehnicheckie trebovanija*]. Moscow, Standardinform publ., 2013, 24 p.

5. Meister, V. M. Study of vibration of passenger cars [Issledovanie vibracii passazhirskih vagonov]. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Leningrad, 1967, 20 p.

6. Skachkov, A. N., Zaitsev, A. V., Goncharov, D. I., Liferenko, V. Yu., Kazak, A. S. Investigation of vibration of passenger cars with an open salon [Issledovanie vibracii passazhirskih vagonov s otkrytym salonom]. Proceedings of the VI All-Russian scientific-practical conference «Problems and perspectives of development of car building». Bryansk, BSTU publ., 2014, pp. 96–98.

7. OST 24.050.16–85 Passenger cars. Method for determining the smooth run of the car [OST 24.050.16–85 *Vagony passazhirskie. Metodika opredelenija pлавnosti hoda vagona*]. Moscow, VNIIV publ., 1985, 15 p.

8. SP 2.5.2647–10 Sanitary rules for the organization of passenger transportations by rail (Amendments and addenda No. 2 to SP 2.5.1198–03) / Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation, № 68 of 16.07.2010 [SP 2.5.2647–10 *Sanitarnye pravila po organizacii passazhirskih perevozok na zheleznodorozhnom transporte (Izmeneniya i dopolneniya № 2 k SP 2.5.1198–03) / Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF, № 68 ot 16.07.2010*].

Information about the authors:

**Skachkov, Alexander N.** – Ph.D. (Eng.), director of CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia, +7 (4822) 55–54–32.

**Samoshkin, Sergey L.** – D.Sc. (Eng.), head of the department of CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia, +7 (4822) 79–40–33.

**Zaytsev, Andrey V.** – head of the laboratory of CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia, labr7@yandex.ru.

Article received 14.12.2016, accepted 20.03.2017.

