

# 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 обслуживающего 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 некупежный (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



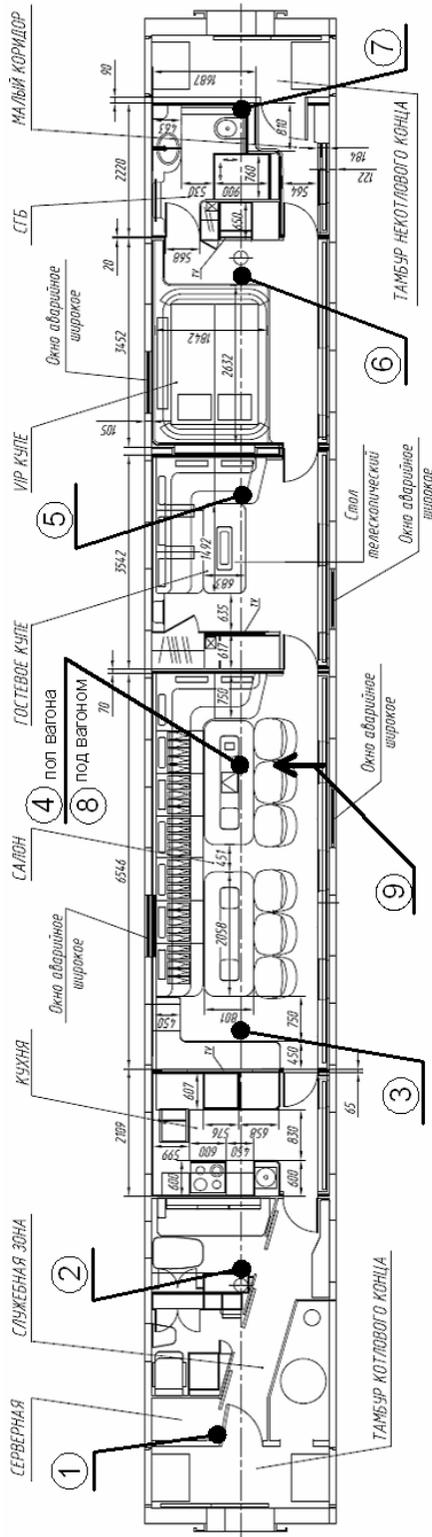


Рис. 1. Планировка и схема расстановки акселерометров в помещениях вагона-салона на базе купейного вагона модели 61–4440. ● – акселерометры 1–7, фиксирующие виброускорение в вертикальном направлении и установленные на полу вагона; ↑ – акселерометр 9, фиксирующий виброускорение в поперечном направлении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

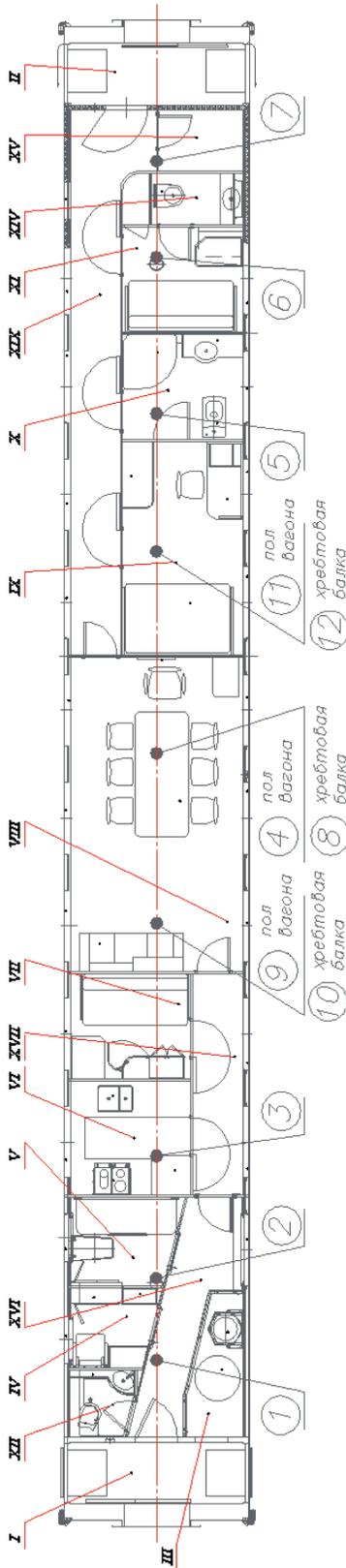
Оценка динамических характеристик вагона проводилась в диапазоне скоростей движения 40–120 км/ч путем замеров виброускорений акселерометрами, установленными в семи зонах внутри вагона по полу, как показано на рис. 1. Продолжительность измерений в каждой зоне и на каждой скорости составляла не менее 200 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 (рефрерента)
- 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 акселерометры
- 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 фиксированные на полу вагона (акселерометры 8, 10, 12 фиксируют ускорения хребтовой балки)

Рис. 3. Планировка и схема расположения акселерометров при проведении пробных испытаний. • – акселерометры 1–7, 9, 11, фиксирующие ускорения в вертикальном направлении и установленные на полу вагона (акселерометры 8, 10, 12 фиксируют ускорения 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 безлюточного 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

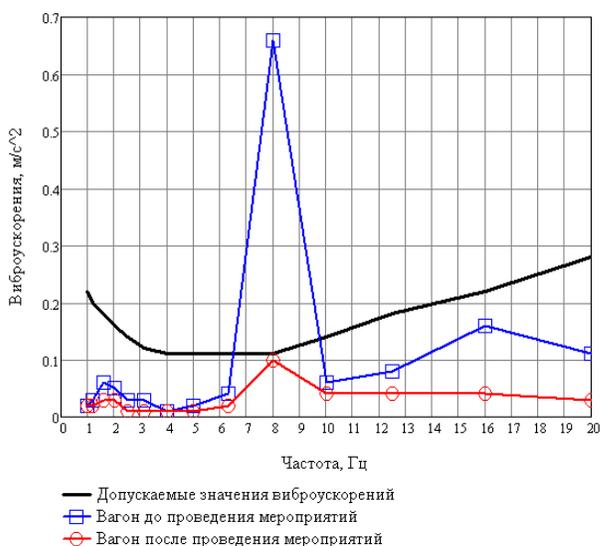


Рис. 5. Средние уровни вибрации при скорости движения опытного вагона 90 км/ч (зона установки акселерометра 9 на рис. 3).

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.

