

## ПОВЫШЕНИЕ ЧАСТОТЫ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КУЗОВА С ПОМОЩЬЮ ПОДАТЛИВОГО КРЕПЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Р. В. ГУЧИНСКИЙ

ООО «Троицкий крановый завод», Институт Проблем Машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Требования к минимальным значениям частот собственных колебаний кузовов пассажирских вагонов, вагонов метрополитена и моторвагонного подвижного состава содержатся как в отечественной, так и в зарубежной нормативной документации. Например, в соответствии с [1] первая частота собственных изгибных колебаний (ЧСИК) полностью оборудованного кузова не должна быть меньше 8 Гц. Проектирование кузовов с максимальным значением ЧСИК позволяет получать конструкции, характеризующиеся минимальной массой и максимальной изгибной жесткостью [2]. Применение податливых креплений подвагонного оборудования может быть использовано для улучшения динамических качеств кузова. Цель работы – оценка возможности увеличения ЧСИК неголовного вагона городского электропоезда за счет податливости крепления как подвагонного, так и крышевого оборудования при различной населенности вагона.

Для построения расчетной модели использовался один из проектных вариантов кузова моторного вагона городского электропоезда. Масса тары кузова составляет 37,4 т. В качестве основного варианта загрузки рассматривается максимальная населенность. Также рассматривается вариант расчетной населенности при плотности стоящих пассажиров (3 чел. на 1 м<sup>2</sup>) и вариант без пассажиров, соответствующий таре кузова. Масса брутто кузова при расчетной населенности составляет 50 т, при максимальной – 60,4 т. Расчет ЧСИК выполняется в программном комплексе ANSYS. Используются модальный анализ и блочный метод Ланцоша. Кузов располагается на упругих опорах с вертикальной жесткостью 0,66 МН/м, что соответствует общей жесткости двух ступеней подвешивания вагона [3]. Поскольку рассматриваются только вертикальные колебания, жесткости опор в остальных направлениях не учитываются. На кузове расположены пять ящиков оборудования в подвагонном пространстве и один на крыше. Оборудование моделируется абсолютно жестким телом, соединенным с точками крепления на кузове упругими пружинами. Жесткость пружин подбирается исходя из равенства частот вертикальных колебаний оборудования.

На рисунке 1 показана зависимость ЧСИК от частоты колебаний оборудования. При низкой жесткости крепления оборудования наблюдаются повышенные значения ЧСИК. В этом случае кузов и оборудование испытывают колебания в противофазе, что позволяет увеличить значения ЧСИК. При высокой жесткости крепления оборудования ЧСИК снижена из-за синфазных колебаний кузова и оборудования. В переходном диапазоне частот оборудования наблюдаются две преобладающие формы изгибных колебаний кузова.

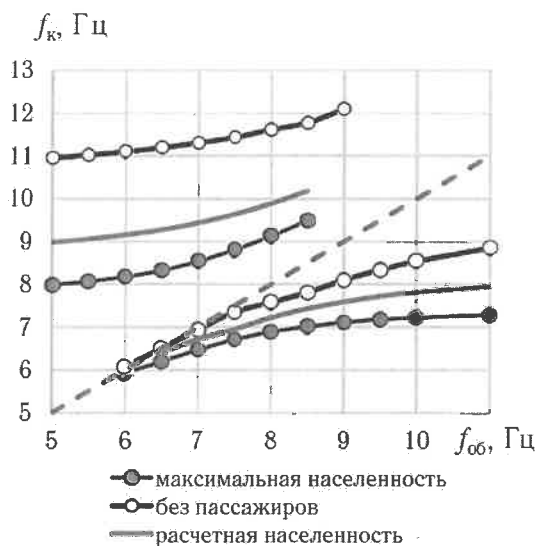


Рисунок 1 – ЧСИК в зависимости от частоты колебаний оборудования

Основным является расчет ЧСИК при максимальной населенности, т. к. регламентируется значение ЧСИК для кузова брутто [1]. В этом случае при возрастании частоты колебаний оборудования до бесконечности, что соответствует жесткому креплению оборудования, ЧСИК составляет 7,51 Гц. В переходном диапазоне жесткости, соответствующем частотам колебания оборудования 6–10 Гц, происходит смена преобладающей ЧСИК с верхней на нижнюю.

Для оценки переходной точки был выполнен расчет отношения амплитуд на двух ЧСИК (рисунок 1). Амплитуда колебаний определялась как разность вертикальных перемещений центрального и концевой сечения кузова. При частоте колебаний оборудования 8 Гц амплитуды колебаний кузова брутто на верхней и нижней частоте становятся равны-

тикальных перемещений центрального и концевой сечения кузова. При частоте колебаний оборудования 8 Гц амплитуды колебаний кузова брутто на верхней и нижней частоте становятся равны-

ми. При этом частота колебаний оборудования примерно равна среднему арифметическому значению верхней и нижней частоты. Это условие можно считать критерием перехода с верхней ЧСИК на нижнюю.

Таким образом, для повышения ЧСИК брутто со значения 7,51 Гц при жестком креплении оборудования до нормативного значения в 8 Гц и выше необходимо ввести податливые крепления оборудования исходя из расчета частоты колебаний оборудования 6–6,5 Гц.

При этом ЧСИК удастся увеличить на 9–11 %. Амплитуды колебаний на нижней частоте в этом случае будут как минимум в 2,3 раза меньше, чем на верхней. Положительное влияние податливости креплений на показатели плавности хода и уровни виброускорений нуждается в экспериментальном подтверждении.

В некоторых нормативных документах регламентируется также значение ЧСИК для тары кузова, которое не должно быть менее 10 Гц. Применение податливых креплений оборудования исходя из частоты его колебаний 6–6,5 Гц позволяет в данном случае повысить значение ЧСИК при любой населенности вагона. В частности, для тары кузова ЧСИК может быть повышена не менее чем до 11 Гц, что позволяет удовлетворить нормативным требованиям. С применением жестких опор значение ЧСИК составляет 9,78 Гц.

Значение частоты собственных колебаний оборудования для эффективного увеличения ЧСИК должно быть меньше значения ЧСИК с оборудованием при любой населенности. Для кузова брутто вагона городского электропоезда рассматриваемой конструкции применение упругих креплений позволяет повысить ЧСИК на 9–11 %.

Частота колебаний оборудования, при которой происходит смена преобладающей ЧСИК с верхней на нижнюю, увеличивается с сокращением населенности. Таким образом, основным расчетным режимом для назначения жесткости креплений является случай максимальной населенности.

Использование упругих креплений крышевого оборудования влияет на ЧСИК аналогично подвагонному оборудованию, при этом степень влияния пропорциональна относительной массе оборудования.

#### Список литературы

1 ГОСТ 33796-2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2017-04-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 35 с.

2 Гучинский, Р. В. Оптимизация конструкции кузова вагона электропоезда по значению частоты собственных колебаний / Р. В. Гучинский // Вестник ВНИИЖТ. – 2021. – Т. 80, № 3. – С. 152–159.

3 Гучинский, Р. В. Расчет частоты собственных изгибных колебаний кузова вагона электропоезда с учетом податливости опор / Р. В. Гучинский // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 2 (42). – С. 4–11.

УДК 533.6.011:004.94

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*О. В. ДЕМЬЯНЧУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время при определении основного сопротивления движению вагонов используются коэффициенты, определенные укрупненно для отдельных типов вагонов и установленные Правилами тяговых расчетов. С другой стороны, постоянно создаются новые модели вагонов, аэродинамические характеристики которых могут существенно отличаться от усредненных [1].

Для получения значений аэродинамических нагрузок на транспортные средства используются полномасштабные испытания, эксперименты в аэродинамической трубе, методы аналитического расчета и компьютерное моделирование. Проведение полномасштабных испытаний является сложным и дорогостоящим процессом. Данные, полученные по результатам испытаний в аэродинамической трубе, требуют последующей обработки для обеспечения соответствия полномасштабным транспортным средствам. Проведение исследований с помощью технологий трехмерного моделирования Computational Fluid Dynamics (CFD) является одним из наиболее перспективных подходов. Преимущество данного метода заключается в том, что можно рассчитать и визуализировать схемы потока и коэффициенты сопротивления, а это позволяет отказаться от дорогостоящих испытаний [2, 3].