

Ю.П. БОРОНЕНКО, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС (Россия)
А.М. ОРЛОВА, канд. техн. наук, ГУП НВЦ «Вагоны» (Россия)
Т.М. БЕЛГОРОДЦЕВА, ПГУПС (Россия)

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ХОДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Були проведені випробування пасажирського вагону, який обладнаний різними типами гідравлічних гасителів коливань центрального підвішування, що дозволило визначити характерні частоти коливань, швидкості переміщень штока і сили опору гасителів. Були запропоновані узагальнені критерії порівняння амортизаторів за ходовими якістьми вагонів.

Выполнены испытания пассажирского вагона, оборудованного различными типами гидравлических гасителей колебаний во второй ступени подвешивания, которые позволили определить характерные частоты колебаний, скорости перемещения штока и силы сопротивления гасителей. Предложен обобщенный критерий сравнения гидrogасителей по ходовым качествам вагонов.

Performance testing of passenger coaches equipped with different types of hydraulic dampers in secondary suspension which allowed determining characteristic frequencies, deformation velocities and resistance forces was carried out. Generalized criteria were proposed to compare dampers according to the ride qualities. Recommendations towards changing the requirements to the dampers and their rig testing methods are given.

НВЦ «Вагоны» совместно с ВНИИЖТ проведены испытания вагона пассажирского поезда «Аврора», оборудованного гидравлическими гасителями колебаний разных типов в центральном подвешивании. Гасители отличались величиной эквивалентного параметра сопротивления, а также усилия, при котором происходило открытие предохранительного клапана. Испытания выполнялись с целью установления условий эксплуатации гидравлических гасителей колебаний, определения скорости перемещения штока, частоты колебаний, ими воспринимаемые, и величины развиваемых усилий сопротивления, а также оценить влияние гасителей на ходовые качества вагона.

Методика проведения измерений и первичной обработки данных при испытаниях

В процессе испытаний производились измерения: вертикального и поперечного ускорения в зоне шкворня на полу вагона, относительного вертикального перемещения во второй ступени подвешивания вагона, перемещения штока гасителя, а также развиваемого им усилия сопротивления.

Для измерения перемещения поршня гидравлического гасителя и вертикальных динамических перемещений кузова на второй сту-

пени подвешивания использовались тензометрические прогибомеры. Для измерения усилия, создаваемого гидравлическим гасителем, использовались тензометрические валики узлов крепления. Дополнительно тензометрами был оборудован кронштейн наддрессорной балки для крепления гасителя. Общий вид гасителя колебаний, оборудованного первичными преобразователями, представлен на рис. 1. Дополнительно тензометрический валик крепления гасителя и устройство, предохраняющее его от поворота относительно гасителя колебаний, приведены на рис. 2. Обе системы измерения силы обладали чувствительностью 30 кгс.



Рис. 1. Общий вид гасителя колебаний, оборудованного первичными преобразователями

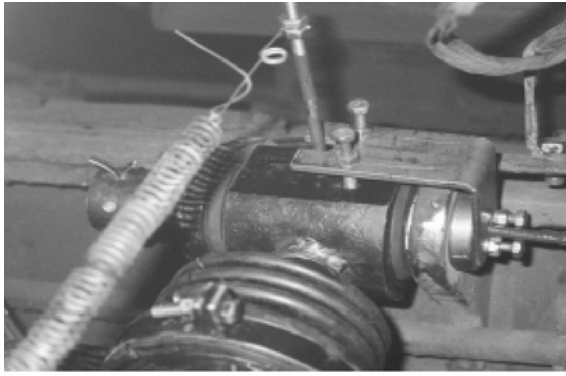


Рис. 2. Вид установки тензометрического валика

В случае ходовых испытаний вагона возможность измерения скорости перемещения штока в гасителе отсутствует, измерениям подвергается относительное перемещение. В связи с этим была произведена отработка метода численного дифференцирования относительного перемещения в гасителе колебаний для построения зависимости «усилие сопротивления – скорость относительного перемещения штока» и использования ее для определения эквивалентного параметра сопротивления гасителя. Для отработки использовались результаты расчета, полученного на математической модели движения вагона.

Рассматривались три метода численного дифференцирования:

– первого порядка точности:

$$v_k = \frac{d_{k+1} - d_k}{h}, \quad (1)$$

где v_k – значение скорости на шаге k ; d_k , d_{k+1} – значение относительного перемещения на шаге k и $k+1$ соответственно; h – шаг дискретизации процессов по времени (постоянный);

– второго порядка точности:

$$v_k = \frac{1}{2h}(-3d_k + 4d_{k+1} - d_{k+2}), \quad (2)$$

– с использованием разложения в ряд Фурье:

$$D = FT(d), \quad V_j = -\frac{2\pi i \cdot j}{Nh} D_j, \quad v = IFT(V), \quad (3)$$

где FT , IFT – прямое и обратное преобразование Фурье; D – столбец коэффициентов преобразования Фурье для перемещения; V – столбец коэффициентов преобразования Фурье для скорости; j – счетчик коэффициентов в преобразовании Фурье; i – комплексная едини-

ца; N – количество точек на осциллограмме перемещения.

Результаты вычисления относительной скорости перемещения в гасителе колебаний методами численного дифференцирования (1)...(3) в сравнении со скоростью, вычисленной с использованием обобщенных координат, представлены на рис. 3.

Погрешность при вычислении скорости методом преобразования Фурье не превышала 2 %.

Эквивалентный параметр сопротивления оценивался методом наименьших квадратов по формуле:

$$\beta = \frac{\sum_k F_k \cdot v_k}{\sum_k v_k^2}, \quad (4)$$

где F_k – значение силы сопротивления гасителя на шаге k .

Можно показать, что метод наименьших квадратов дает параметр линейного гасителя, эквивалентный по поглощенной энергии гасителю с реальной характеристикой.

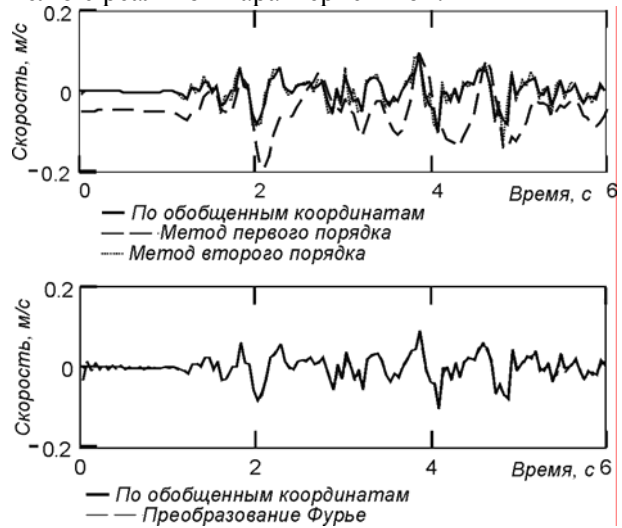


Рис. 3. Сравнение различных способов вычисления скорости перемещения штока

Методика сравнения качества работы гидравлических гасителей колебаний по результатам испытаний

Для сравнения качества работы гидравлических гасителей строятся зависимости средних квадратичных отклонений вертикальных и поперечных ускорений (или показателей плавности хода) от скорости движения вагона. Однако построенные зависимости не позволяют сделать однозначный вывод о преимуществах одного из гасителей колебаний. Кроме того, су-

существует возможность, что один гаситель будет лучше для гашения вертикальных, а другой – для гашения горизонтальных колебаний. В связи с этим для сравнения гасителей было предложено использовать среднее геометрическое взвешенное ускорение (или показатель плавности хода), учитывающее распределение скоростей движения вагона в эксплуатации:

$$Q = \sum_i p(v_i) \sqrt{\ddot{z}_i^2 + \ddot{y}_i^2}, \quad (5)$$

где \ddot{z}_i, \ddot{y}_i – вертикальное и поперечное средние квадратичные отклонения ускорения кузова вагона в i -ом интервале скоростей движения (или показатели плавности хода в соответствующем интервале); $p(v_i)$ – частота повторения скоростей движения в i -ом интервале в эксплуатации ([1], табл. 3.4), v_i – среднее значение скорости движения в i -ом интервале.

Чем меньше значение критерия Q , тем эффективнее гаситель колебаний.

Результаты испытаний и сравнение качества работы гидравлических гасителей колебаний

Характерные частоты колебаний зарегистрированных динамических процессов приведены в таблице. Анализ полученных частот колебаний показал:

- частоты колебаний практически не зависят от скорости движения вагона;
- частоты колебаний 0,5...0,9 Гц присутствуют в вертикальных деформациях рессорного комплекта, однако в скорости перемещения штока и силе сопротивления гасителя не встречаются. Этим частотам соответствует форма колебаний боковой качки кузова с боковым откосом, при которой взаимные перемещения надрессорной балки и рамы тележки не вызывают деформации гасителей (точки крепления перемещаются по окружностям);
- в осциллограмме вертикальных ускорений частоты 1,3...1,9 Гц соответствуют подпрыгиванию кузова, а 2,0...2,5 Гц – его галопированию. При этих формах колебаний происходит работа гасителей, что подтверждается частотным составом перемещения штока и силы сопротивления;
- в осциллограмме поперечных ускорений присутствуют частоты свыше 3 Гц, одной из причин возникновения которых может быть форма колебаний виляния кузова. Ее гашение также

подтверждается частотным составом динамических процессов в гасителе.

Таблица

Характерные частоты колебаний

Динамический процесс	Частоты колебаний, Гц
Относительное вертикальное перемещение во второй ступени подвешивания	0,5...0,9; 1,5...1,8
Поперечное ускорение	1,3...1,9; 2,2...2,5; 3,2...3,5
Вертикальное ускорение	1,3...1,9; 2,0...2,5
Перемещение штока гасителя	1,2...1,4; 2,2...2,5 3,2...3,5
Сила сопротивления гасителя	1,2...1,4; 2,2...2,5 3,2...3,5

Экспериментальные зависимости скорости перемещения штока от скорости движения вагона в прямых участках пути и соответствующие зависимости сил сопротивления представлены на рис. 4 и 5.

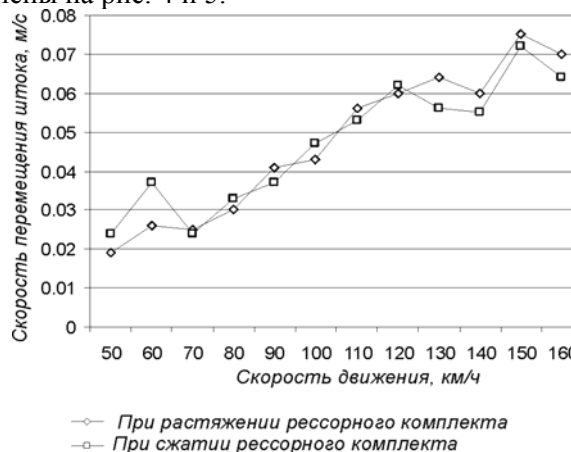


Рис. 4. Скорость перемещения штока гасителя (максимальная) как функция скорости движения вагона на прямых участках пути

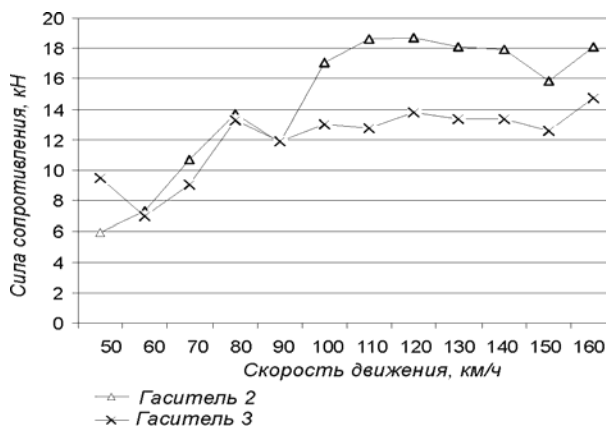


Рис. 5. Сила сопротивления гасителя (максимальная) как функция скорости движения вагона на прямых участках пути

Таким образом, на прямых участках пути скорость перемещения штока гасителя (в условиях участка для скоростного движения) не превышает 0,08 м/с. При движении по кривым и стрелкам скорость увеличивалась до 0,2...0,4 м/с.

Максимальная сила сопротивления практически не различается для гасителей разных типов в диапазоне скоростей штока до 0,04 м/с, однако, при росте скорости штока появляется значительное различие, связанное с работой предохранительного клапана. Таким образом, при одинаковом параметре сопротивления качество гасителей в основном определяется работой предохранительного клапана.

Экспериментальные зависимости максимального измеренного (с доверительной вероятностью 0,999) вертикального и поперечного ускорения (в диапазоне частот до 12 Гц [2]) от скорости движения вагона приведены на рис. 6 и 7. Зависимости для показателей плавности хода практически повторяли таковые для ускорений.

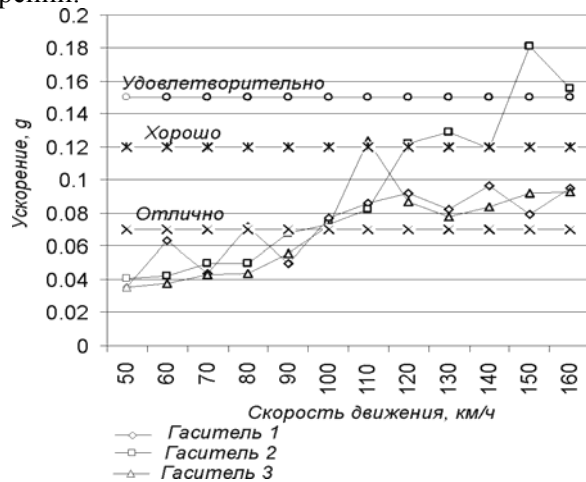


Рис. 6. Максимальное поперечное ускорение как функция скорости движения вагона на прямых участках пути

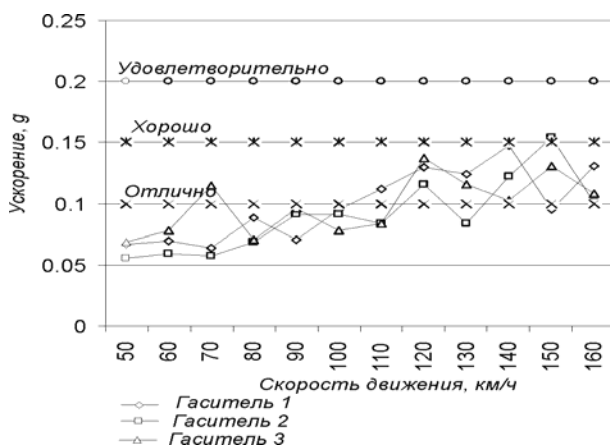


Рис. 7. Максимальное вертикальное ускорение как функция скорости движения вагона на прямых участках пути

Результаты испытаний показали, что однозначный вывод о преимуществах того или иного гасителя для демпфирования вертикальных колебаний вагона сделать невозможно. В большей мере различия наблюдаются в показателях горизонтальной динамики и становятся особенно заметны с ростом скоростей движения свыше 100 км/ч.

Для обобщенной оценки эффективности гасителей были определены значения критерия, введенного в программе и методике испытаний, для скоростей движения 100 км/ч и выше (рис. 8).

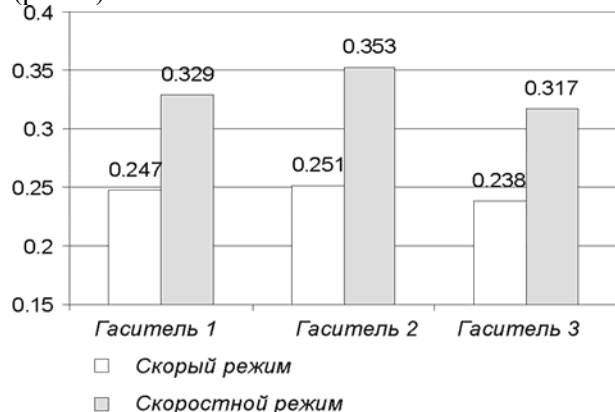


Рис. 8. Значения Q (среднего геометрического взвешенного ускорения), определенного по ускорениям в диапазоне частот до 12 Гц для двух режимов ведения поезда

Таким образом, для пассажирских вагонов для скоростей движения до 160 км/ч по обобщенному критерию наиболее эффективным является гаситель колебаний № 3, средней эффективностью обладает гаситель колебаний № 1, а самой низкой эффективностью (вплоть до нарушения требований [1] к ходовым качествам вагонов) – гаситель № 2.

Результаты сравнения реализованных гасителями при движении вагона средних эквивалентных параметров сопротивления, приведены на рис. 9.

Наименьшей эффективностью обладает гаситель колебаний № 2, имеющий эквивалентный параметр сопротивления выше регламентированного нормативной документацией, а наибольшей – гаситель № 3 с параметром сопротивления на нижнем пределе допустимого диапазона. Это показывает необходимость проведения исследований по уточнению технических требований к гасителям скоростного подвижного состава в сторону уменьшения рекомендуемого параметра сопротивления.

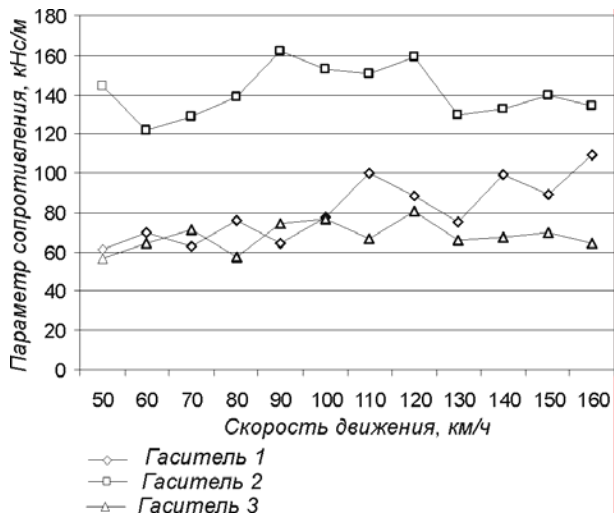


Рис. 9. Средние параметры сопротивления гасителей колебаний, как функция скорости движения вагона

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М., 1983.
2. ОСТ 26.050.16. Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода вагонов.