

Влияние жесткости рессорного подвешивания на динамические показатели качества пассажирского вагона

канд. техн. наук С.В. Мямлин (ДИИТ, Днепрпетровск, Украина)

Наведено результати моделювання динамічної навантаженості пасажирського вагона. Розрахунки виконані з метою визначення параметрів двох ступенів рессорного підвішування вагона.

The results of modeling the passenger wagon dynamics are given. The optimal parameters both on spring level are defined.

В последнее время на железных дорогах Украины значительное внимание уделяется вопросам повышения скорости движения пассажирских поездов. Поставлена задача повышения скорости движения пассажирских поездов на участке Киев–Харьков до 120...140 км/ч.

При повышении максимальных скоростей движения поездов становится актуальным вопрос о величинах динамических показателей качества движения вагонов при таких скоростях. К основным динамическим показателям качества относятся коэффициенты вертикальной (K_{δ_v}) и горизонтальной (K_{δ_h}) динамики обрессоренной рамы вагона и показатели плавности хода в вертикальном (W_v) и горизонтальном (W_h) направлениях. Максимально допустимые значения этих параметров ограничены величинами, приведенными в ГОСТах и РД. Так, для обрессоренной тележки пассажирского вагона максимальная величина K_{δ_v} должна быть не больше 0,4, K_{δ_h} не больше 0,25, а величины W_v и W_h не должны превышать значений, равных 3,25.

Разработанная автором программа моделирования динамики железнодорожных экипажей [1] позволяет получить все перечисленные выше динамические показатели для любого типа вагона. Поэтому в данной статье ставится задача определения зависимости динамических по-

казателей от скорости движения вагона при различных значениях жесткостей рессор в обеих ступенях подвешивания.

Характерной особенностью пассажирских вагонов и вагонов электропоездов является то, что в конструкции этих вагонов используются тележки с двухступенчатым рессорным подвешиванием. Следовательно, гашение вертикальных и горизонтальных поперечных колебаний экипажей проводится в два этапа: вначале в рессорах буксовых узлов, а затем в центральном подвешивании. Таким образом, выбор соотношения жесткостей буксового и центрального подвешивания будет влиять на величины динамических показателей качества вагона.

В типовых тележках пассажирских вагонов и прицепных вагонов электропоездов величина жесткости рессорного комплекта буксового подвешивания составляет в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях 1412 кН/м. Жесткость рессорного комплекта центральной ступени подвешивания в вертикальном направлении – 835 кН/м, в горизонтальном поперечном – 162 кН/м. Таким образом, кузов опирается на два рессорных комплекта, эквивалентная жесткость которых определяется выражением

$$K_3 = \frac{K_6 K_y}{K_6 + K_y}, \quad (1)$$

где K_6 – жесткость рессорного комплекта буксового подвешивания $\kappa\text{Н/м}$;

K_y – жесткость рессорного комплекта центрального подвешивания, $\kappa\text{Н/м}$.

Определим вначале наилучшее соотношение между жесткостями буксового и рессорного комплекта подвешивания при условии, что эквивалентная жесткость будет оставаться неизменной. Для этого преобразуем формулу (1) так, чтобы, задаваясь значениями величины K_6 , можно было определить соответствующие им значения величины K_y :

$$K_y = \frac{K_3 K_6}{K_6 - K_3} \quad (2)$$

Рассчитанные при указанном выше условии величины жесткостей буксового и центрального рессорных комплектов в вертикальном ($K_{6в}$ и K_{yv}) и горизонтальном ($K_{6г}$ и K_{yg}) направлениях приведены на рис. 1 и 2.

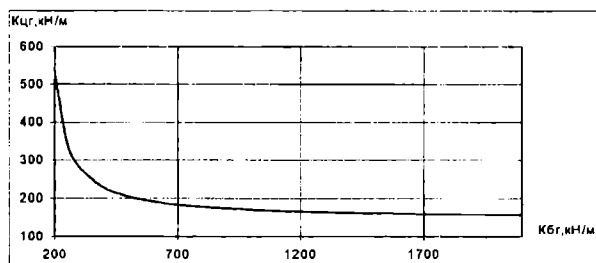


Рис. 1. Зависимость жесткости центрального рессорного комплекта в горизонтальном направлении от жесткости буксового рессорного комплекта

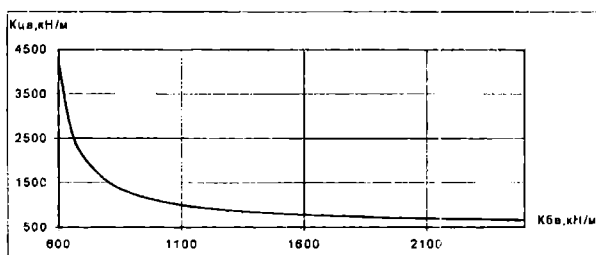


Рис. 2. Зависимость жесткости центрального рессорного комплекта в вертикальном направлении от жесткости буксового рессорного комплекта

Для определения наилучшего соотношения между жесткостями рессорных комплектов буксового и центрального подвешивания выполним моделирование движения вагона по прямолинейному участку пути. Вначале зададим одинаковые неровности левой и правой рельсовых нитей [2; 3]. При этом кузов вагона не будет совершать боковых колебаний (боковая качка отсутствует).

На рис. 3 и 4 приведены величины W_v и K_{dv} , полученные в результате моделирования. При этом жесткости буксового рессорного подвешивания в вертикальном направлении задавались равными 600, 750, 1000, 1500, 2000 и 2500 $\kappa\text{Н/м}$. Соответствующие им величины жесткостей центрального рессорного подвешивания в вертикальном направлении определялись по формуле (2). На рис. 5 приведены результаты для величин W_h . При этом жесткости буксового рессорного подвешивания в горизонтальном поперечном направлении задавались равными 170, 250, 500, 1000 и 1500 $\kappa\text{Н/м}$. А величины жесткостей центрального рессорного подвешивания в том же направлении также определялись по формуле (2).

На рис. 3 и 4 введены следующие обозначения:

■ – $K_{6в} = 600 \kappa\text{Н/м}$, $K_{yv} = 4181 \kappa\text{Н/м}$;

♦ – $K_{6в} = 750 \kappa\text{Н/м}$, $K_{yv} = 1747 \kappa\text{Н/м}$;

▲ – $K_{6в} = 1000 \kappa\text{Н/м}$, $K_{yv} = 1104 \kappa\text{Н/м}$;

● – $K_{6в} = 1500 \kappa\text{Н/м}$, $K_{yv} = 807 \kappa\text{Н/м}$;

□ – $K_{6в} = 2000 \kappa\text{Н/м}$, $K_{yv} = 711 \kappa\text{Н/м}$;

◇ – $K_{6в} = 2500 \kappa\text{Н/м}$, $K_{yv} = 664 \kappa\text{Н/м}$.

Из рис. 3 и 4 видно, что наилучшие результаты (наименьшие значения величин W_v и K_{dv}) получены при вертикальной жесткости буксового рессорного комплекта 750...1000 $\kappa\text{Н/м}$. При этом величина W_v и величина K_{dv} плавно увеличивается с ростом скорости движения вагона в рассматриваемом диапазоне скоростей.

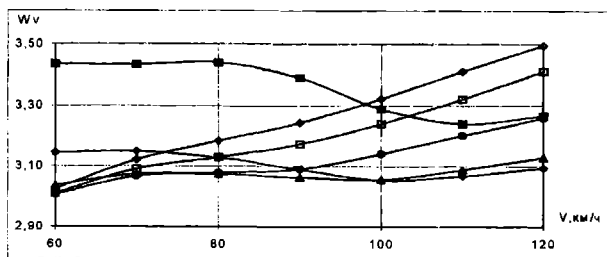


Рис. 3. Зависимость показателя плавности хода (W_v) от скорости движения при различных величинах $K_{бв}$ и $K_{цв}$

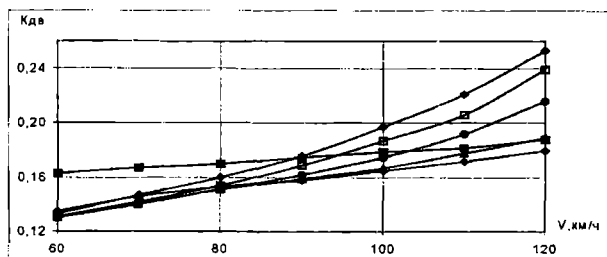


Рис. 4. Зависимость коэффициента вертикальной динамики ($K_{δв}$) от скорости движения при различных величинах $K_{бв}$ и $K_{цв}$

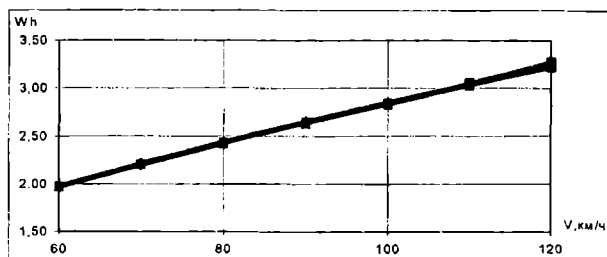


Рис. 5. Зависимость показателя плавности хода (W_h) от скорости движения при различных величинах $K_{бз}$ и $K_{цз}$:

- — $K_{бз} = 170 \text{ кН/м}$, $K_{цз} = 1000 \text{ кН/м}$;
- ◆ — $K_{бз} = 250 \text{ кН/м}$, $K_{цз} = 347 \text{ кН/м}$;
- ▲ — $K_{бз} = 500 \text{ кН/м}$, $K_{цз} = 205 \text{ кН/м}$;
- — $K_{бз} = 750 \text{ кН/м}$, $K_{цз} = 180 \text{ кН/м}$;
- — $K_{бз} = 1000 \text{ кН/м}$, $K_{цз} = 170 \text{ кН/м}$;
- ◇ — $K_{бз} = 1500 \text{ кН/м}$, $K_{цз} = 161 \text{ кН/м}$.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 5, величина W_h практически не зависит от соотношения жесткостей пружинных комплектов буксового и центрального подвешивания. Таким образом, для определения наилучшего соотношения между жесткостями буксового и центрального рессорных комплектов необходимо возбудить колебания боковой качки кузова. Для этого зададим неровности только для левой рельсовой нити и повторим расчеты аналогично предыдущим.

На рис. 6 и 7 приведены результаты расчетов, аналогичные результатам, показанным на рис. 3 и 4 соответственно. На рис. 8 – результаты, аналогичные рис. 5. А на рис. 9 показана зависимость коэффициента горизонтальной динамики от скорости движения. На всех графиках величины жесткостей буксового рессорного подвешивания варьировались в тех же пределах; обозначения на рис. 6 – 9 такие же, как на рис. 3 – 5.

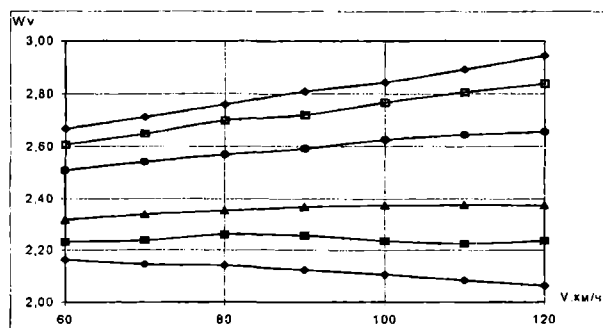


Рис. 6. Зависимость показателя плавности хода (W_v) от скорости движения при различных величинах $K_{бв}$ и $K_{цв}$

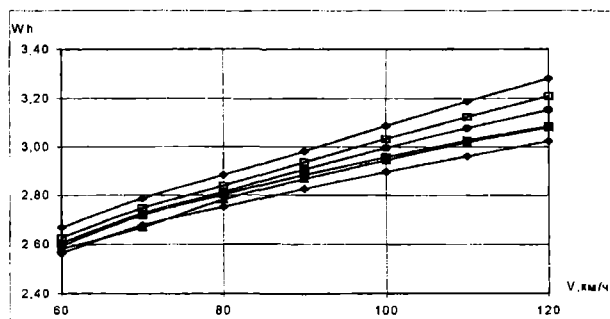


Рис. 7. Зависимость показателя плавности хода (W_h) от скорости движения при различных величинах $K_{бз}$ и $K_{цз}$

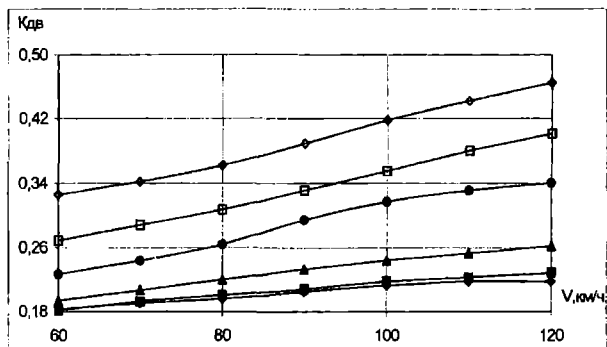


Рис. 8. Зависимость коэффициента вертикальной динамики ($K_{δв}$) от скорости движения при различных величинах $K_{бв}$ и $K_{цв}$

Анализ рис. 6 и 7 позволяет сделать вывод, что наилучшие результаты (наименьшие значения величин W_v и $K_{\partial z}$) получаются при жесткости рессорного комплекта буксового подвешивания равной 750...1000 кН/м, что совпадает с ранее полученными результатами.

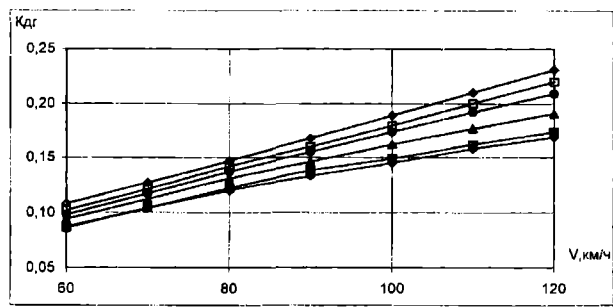


Рис. 9. Зависимость коэффициента горизонтальной динамики ($K_{\partial z}$) от скорости движения при различных величинах $K_{\partial v}$ и $K_{\partial z}$

Величины W_h и $K_{\partial z}$, как видно из рис. 8 и 9, имеют наименьшие значения при жесткости буксового рессорного подвешивания в горизонтальном направлении, равной 250 кН/м. Таким образом, наилучшее соотношение жесткостей двух ступеней подвешивания в вертикальном направлении составляет 0,43...0,9, а в горизонтальном направлении – 0,72. Окончательно для вертикального направления примем величину соотношений жесткостей равной среднему значению из выбранного диапазона, т.е. равной 0,67. Так же, как и в предыдущем случае, показатель плавности хода в вертикальном направлении (W_v) и коэффициент вертикальной динамики ($K_{\partial v}$) плавно увеличивается с ростом скорости движения в рассматриваемом диапазоне скоростей.

Теперь определим, как влияют величины жесткостей рессорных комплектов на динамические показатели качества вагона при их неизменном выбранном соотношении. Для этого выполнены расчеты, моделирующие движение вагона по тому же участку пути при различных значениях жесткостей рессорных комплектов, но при постоянном их соотношении. При этом величину вертикальной жесткости буксового рессорного подвешивания будем изменять в диапазоне 500...2000 кН/м, а величину горизонтальной жесткости – в диапазоне 250...1750 кН/м. Соответ-

ствующие этим величинам значения вертикальной и горизонтальной жесткости рессорного комплекта центральной ступени подвешивания приведены в табл. 1.

Таблица 1

$K_{\partial v}$ кН/м	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
$K_{\partial z}$ кН/м	746	1119	1493	1866	2239	2612	2985
$K_{\partial v}$ кН/м	250	500	750	1000	1250	1500	1750
$K_{\partial z}$ кН/м	347	694	1042	1389	1736	2083	2431

На рис. 10–13 приведены результаты этих расчетов для величин показателей плавности хода в вертикальном (W_v) и горизонтальном (W_h) направлениях, а так же для коэффициентов вертикальной ($K_{\partial v}$) и горизонтальной ($K_{\partial z}$) динамики вагона.

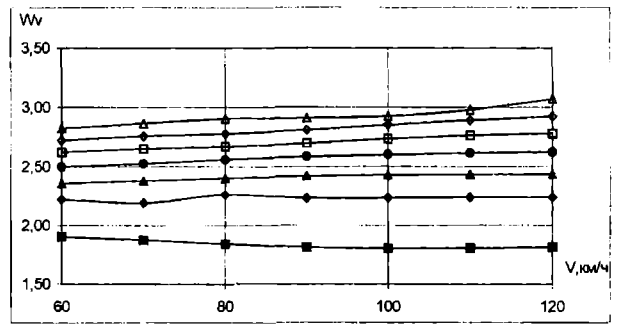


Рис. 10. Зависимость показателя плавности хода (W_v) от скорости движения при различных величинах $K_{\partial v}$ и $K_{\partial z}$ и постоянном их соотношении

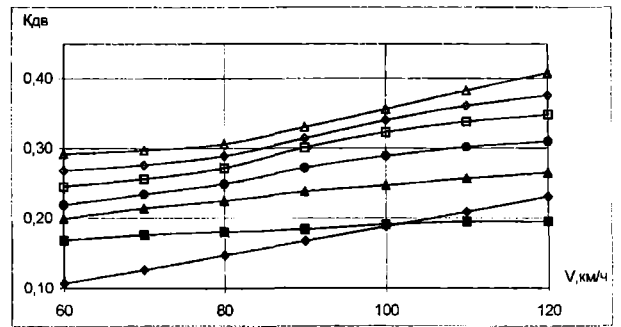


Рис. 11. Зависимость коэффициента вертикальной динамики ($K_{\partial v}$) от скорости движения при различных величинах $K_{\partial v}$ и $K_{\partial z}$ и постоянном их соотношении

На рис. 10 и 11 введены следующие обозначения:

- — $K_{\delta\delta} = 500 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 746 \text{ кН/м}$;
- ◆ — $K_{\delta\delta} = 750 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 1119 \text{ кН/м}$;
- ▲ — $K_{\delta\delta} = 1000 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 1493 \text{ кН/м}$;
- — $K_{\delta\delta} = 1250 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 1866 \text{ кН/м}$;
- — $K_{\delta\delta} = 1500 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 2239 \text{ кН/м}$;
- ◇ — $K_{\delta\delta} = 1750 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 2612 \text{ кН/м}$;
- △ — $K_{\delta\delta} = 2000 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 2985 \text{ кН/м}$.

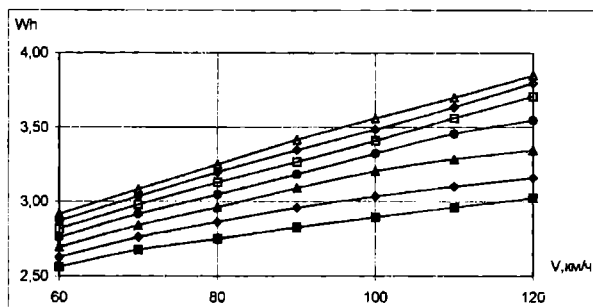


Рис. 12. Зависимость показателя плавности хода (W_n) от скорости движения при различных величинах $K_{\delta\delta}$ и $K_{\psi\psi}$ и постоянном их соотношении

На рис. 12 и 13 введены следующие обозначения:

- — $K_{\delta\delta} = 250 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 347 \text{ кН/м}$;
- ◆ — $K_{\delta\delta} = 500 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 694 \text{ кН/м}$;
- ▲ — $K_{\delta\delta} = 750 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 1042 \text{ кН/м}$;
- — $K_{\delta\delta} = 1000 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 1389 \text{ кН/м}$;
- — $K_{\delta\delta} = 1250 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 1736 \text{ кН/м}$;
- ◇ — $K_{\delta\delta} = 1500 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 2083 \text{ кН/м}$;
- △ — $K_{\delta\delta} = 1750 \text{ кН/м}$, $K_{\psi\psi} = 2431 \text{ кН/м}$.

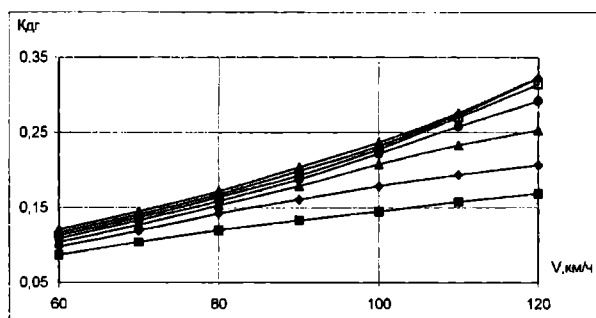


Рис. 13. Зависимость коэффициента горизонтальной динамики (K_{dz}) от скорости движения при различных величинах $K_{\delta\delta}$ и $K_{\psi\psi}$ и постоянном их соотношении

Анализ рис. 10 и 11 позволяет сделать вывод о том, что величина жесткости буксового рессорного подвешивания в вертикальном направлении, равная 500 кН/м , дает наименьшие значения показателя плавности хода, при этом величина W_v практически не изменяется. При таком значении жесткости буксового рессорного подвешивания величина коэффициента вертикальной динамики также имеет наименьшее значение при скоростях выше 100 км/ч и слабо зависит от скорости движения во всем диапазоне рассмотренных скоростей. Что касается жесткости буксового рессорного подвешивания в горизонтальном направлении, то из рис. 12,13 видно, что наилучшие результаты получены для величины жесткости, равной 250 кН/м .

Литература:

1. Мямлин С.В. Программа моделирования пространственных колебаний подвижного состава, Залізничний транспорт України, 2000 – №3. – С. 52–54.
2. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств. Под ред. д.т.н. В.Ф.Ушкалова К.: Наук. думка, 1989. – 240 с.
3. Myamlin S. Modeling of rail line irregularities in determination of wagon dynamic loading. Problemy eksploatacij // Kwartalnik. Radom: Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacij, 1999. – №3. P. 293–301.