

В. И. ПРИХОДЬКО (ОАО «Крюковский вагоностроительный завод»), С. В. МЯМЛИН (ДИИТ)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КУЗОВА ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА И ТЕЛЕЖЕК

В статті наводяться результати математичного моделювання просторових коливань пасажирських вагонів з визначення сил динамічної взаємодії кузовів та візків, які використовуються для визначення динамічних ходових і міцнісних характеристик.

В статье приводятся результаты математического моделирования пространственных колебаний пассажирских вагонов по определению сил динамического взаимодействия кузовов и тележек, которые используются при определении динамических ходовых и прочностных характеристик.

The results of mathematical simulation of spatial oscillations of passenger coaches for determination of forces of dynamical interaction of bodies and bogies, which are used in determination of dynamic run and strength characteristics, are presented in this paper.

Математическое моделирование пространственных колебаний рельсовых экипажей, и пассажирских вагонов в том числе, сопровождается формированием соответствующих расчетных схем. При этом рассматриваются возможные абсолютные и относительные перемещения отдельных элементов. Как правило, разбивая конструкцию пассажирского вагона на отдельные компоненты, совершающие взаимные линейные и угловые перемещения, принимаются допущения и гипотезы, которые способствуют упрощению математического описания пространственных колебаний. Но при этом расчетная схема несколько отдалается от физического объекта. Все же не теряет актуальности задача по максимальному сближению математической модели и оригинала при рассмотрении динамической нагруженности рельсовых экипажей и пассажирских вагонов в частности.

При моделировании динамической нагруженности пассажирских вагонов в некоторых случаях с целью упрощения математической модели рассматривают кузов и надрессорные балки как один инерционный элемент конструкции вагона [1-3]. Это оправдано в тех случаях, когда необходимо определить величины основных динамических показателей пассажирского вагона – коэффициент запаса устойчивости колеса от схода с рельсов, коэффициенты вертикальной и горизонтальной динамики первой и второй ступеней подвешивания. Однако, в ряде случаев, когда, например, необходимо определить ускорение кузова или определить динамические нагрузки, действующие на кузов в процессе движения, возможности таких моделей оказываются не вполне достаточными.

Для определения сил взаимодействия и взаимных перемещений кузова и надрессорных балок необходимо рассмотреть кузов и надрессорные балки, как отдельные элементы конструкции, причем следует считать, что кузов опирается на надрессорные балки в четырех точках (скользунах) [4, 5].

Отметим некоторые особенности рассматриваемой конструктивной схемы пассажирского вагона.

В поперечном и продольном направлениях перемещения кузова относительно надрессорных балок действуют силы сухого трения (рис. 1). В вертикальном направлении кузов связан с надрессорными балками неупругой связью (рис. 2).

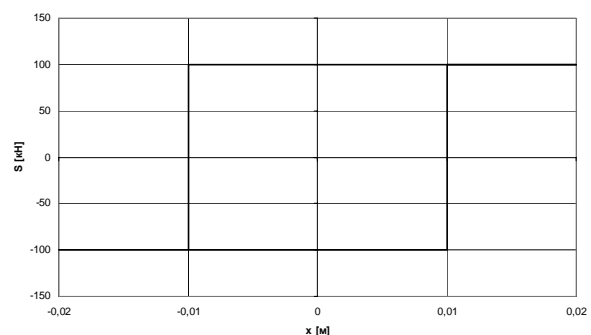


Рис. 1. Характеристика поперечной и продольной связи скользуну и кузова

В пятниковом узле кузова имеются упругие связи с надрессорными балками, ограничивающие взаимные перемещения в поперечном и продольном направлениях (рис. 3) и удерживающие от относительных вертикальных перемещений (рис. 4).

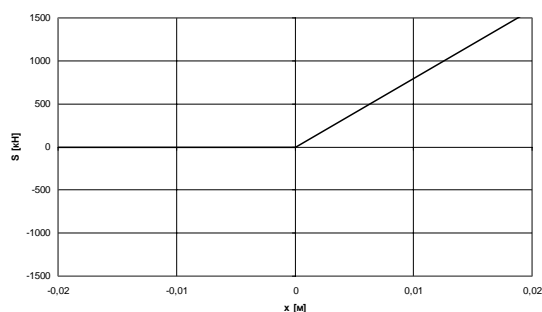


Рис. 2. Характеристика вертикальной связи скользящих и кузова

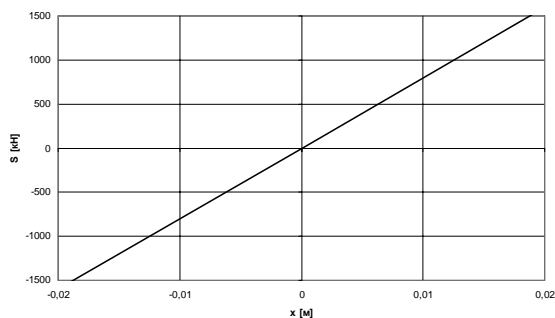


Рис. 3. Характеристика поперечной и продольной связи наддрессорных балок и кузова в пятниковом узле

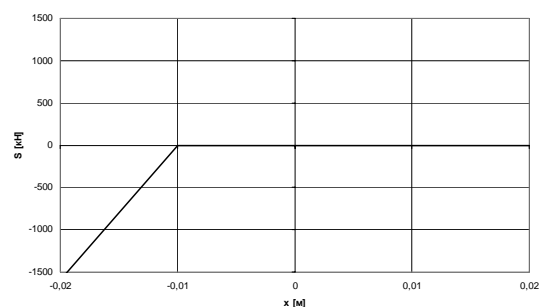


Рис. 4. Характеристика вертикальной связи наддрессорных балок и кузова в пятниковом узле

Далее выполнены теоретические исследования по определению вертикальных и поперечных горизонтальных сил взаимодействия кузова пассажирского вагона и наддрессорных балок в районе скользящих. При выполнении расчетов в качестве возмущений использовались вертикальные и горизонтальные неровности рельсовых нитей, полученные экспериментальным путем. Подробно процесс моделирования неровностей рельсовых нитей рассмотрен ранее [6-8]. Расчеты выполнены для случаев движения пассажирского вагона по прямому участку пути, а также по кривым среднего (600 м, возвышение наружного рельса 150 мм) и малого (300 м, возвышение наружного рельса 150 мм) радиусов с максимально допустимыми скоростями для данных участков.

Для математического моделирования использованы технические характеристики пассажирского вагона модели 61-779 на тележках 68-7007 производства ОАО «Крюковский вагоностроительный завод» [9-11].

Далее на рис. 5-28 приведены осциллограммы сил между скользящими тележки и кузовом, полученные в результате расчетов для различных участков пути.

Как видим, в кривых участках пути осциллограммы для горизонтальных сил несколько повторяют план пути (рис. 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20), при этом значения осциллограмм вертикальных сил колеблются относительно статической нагрузки (рис. 5, 9, 11, 13, 15, 17, 19).

В прямых участках пути отклонение значений вертикальных сил происходит также относительно значения статической нагрузки (рис. 21, 23, 25, 27), а отклонение значений горизонтальных сил происходит относительно нулевой отметки (рис. 22, 24, 26, 28).

Полученные силы динамического взаимодействия кузова пассажирского вагона и тележек позволяют более полно оценить динамическую нагруженность экипажа в целом, а также выбрать необходимые характеристики систем гашения колебаний и связей между элементами, которые позволят улучшить динамические ходовые качества.

Кроме этого, использование сил динамического взаимодействия между кузовом и тележками пассажирского вагона позволяет более точно оценить прочностные качества кузова.

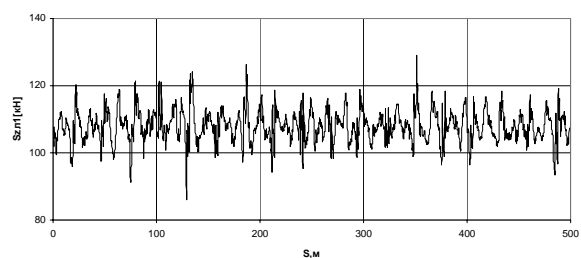


Рис. 5. Вертикальная сила в связи Левый скользящий 1 – Кузов (Кривая 300 м)

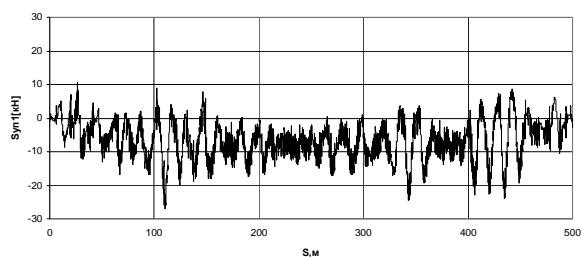


Рис. 6. Горизонтальная сила в связи Левый скользящий 1 – Кузов (Кривая 300 м)

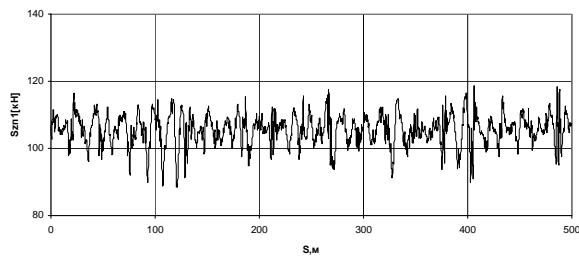


Рис. 7. Вертикальная сила в связи  
Правый скользян 1 – Кузов (Кривая 300 м)

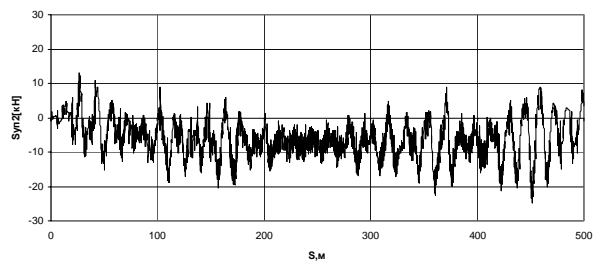


Рис. 12. Горизонтальная сила в связи  
Правый скользян 2 – Кузов (Кривая 300 м)

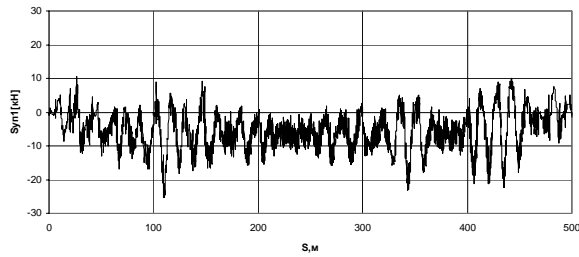


Рис. 8. Горизонтальная сила в связи  
Правый скользян 1 – Кузов (Кривая 300 м)

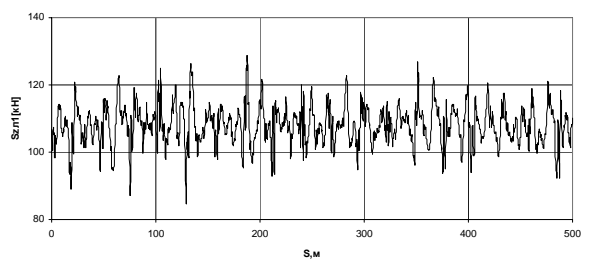


Рис. 13. Вертикальная сила в связи  
Левый скользян 1 – Кузов (Кривая 600 м)

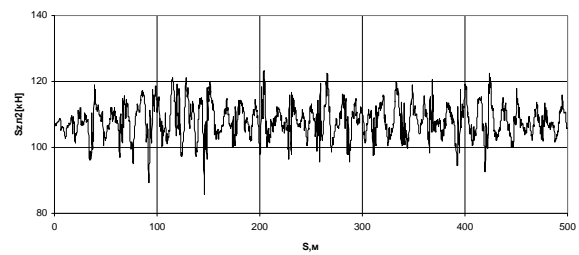


Рис. 9. Вертикальная сила в связи  
Левый скользян 2 – Кузов (Кривая 300 м)

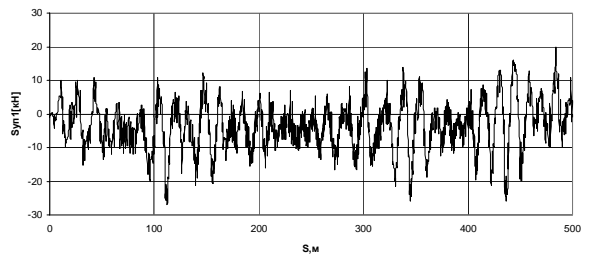


Рис. 14. Горизонтальная сила в связи  
Левый скользян 1 – Кузов (Кривая 600 м)

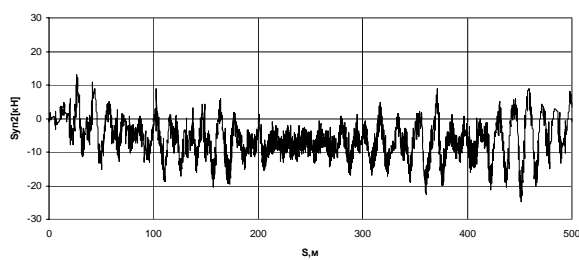


Рис. 10. Горизонтальная сила в связи  
Левый скользян 2 – Кузов (Кривая 300 м)

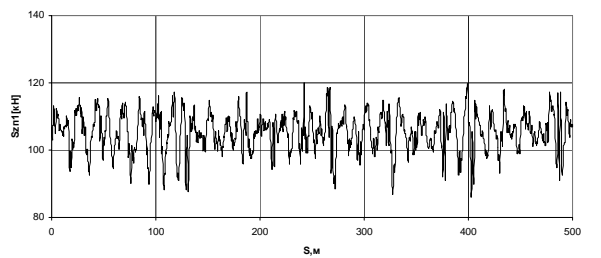


Рис. 15. Вертикальная сила в связи  
Правый скользян 1 – Кузов (Кривая 600 м)

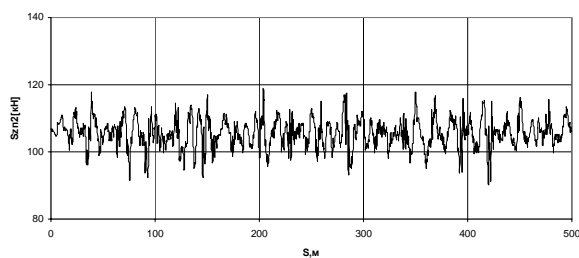


Рис. 11. Вертикальная сила в связи  
Правый скользян 2 – Кузов (Кривая 300 м)

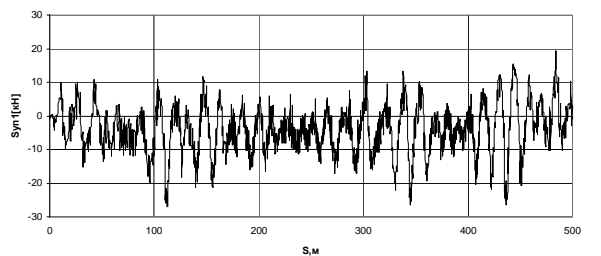


Рис. 16. Горизонтальная сила в связи  
Правый скользян 1 – Кузов (Кривая 600 м)

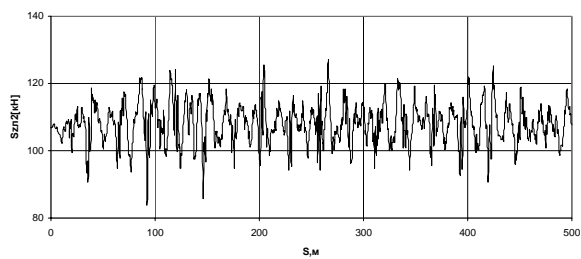


Рис. 17. Вертикальная сила в связи  
Левый скользун 2 – Кузов (Кривая 600 м)

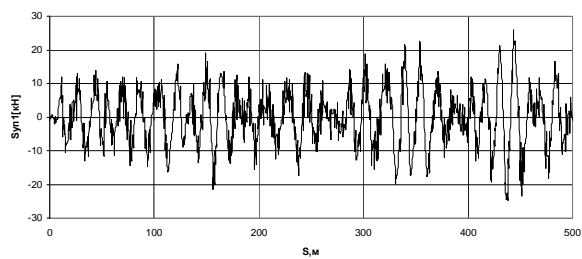


Рис. 22. Горизонтальная сила в связи  
Левый скользун 1 – Кузов (Прямая)

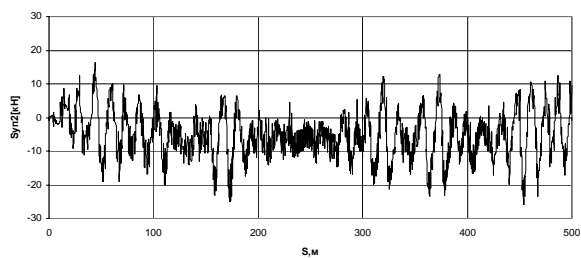


Рис. 18. Горизонтальная сила в связи  
Левый скользун 2 – Кузов (Кривая 600 м)

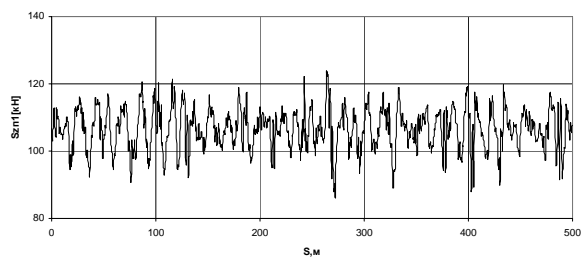


Рис. 23. Вертикальная сила в связи  
Правый скользун 1 – Кузов (Прямая)

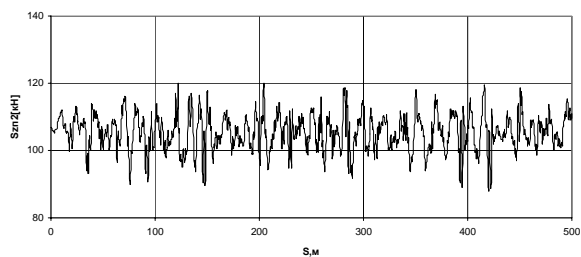


Рис. 19. Вертикальная сила в связи  
Правый скользун 2 – Кузов (Кривая 600 м)

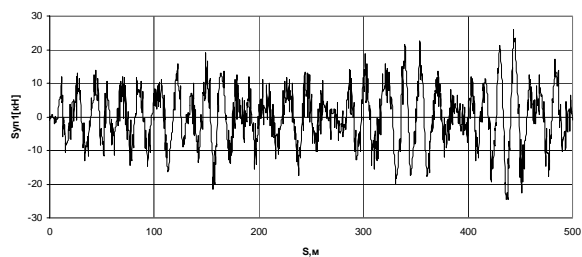


Рис. 24. Горизонтальная сила в связи  
Правый скользун 1 – Кузов (Прямая)

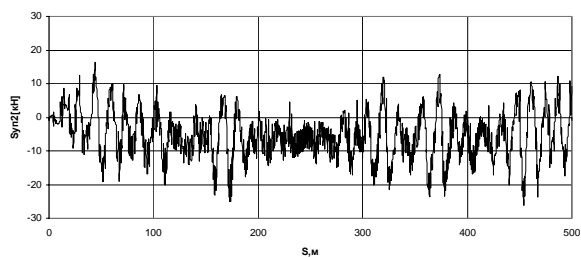


Рис. 20. Горизонтальная сила в связи  
Правый скользун 2 – Кузов (Кривая 600 м)

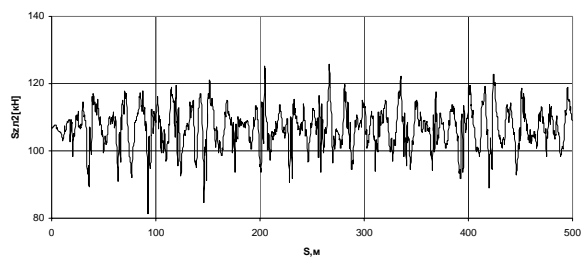


Рис. 25. Вертикальная сила в связи  
Левый скользун 2 – Кузов (Прямая)

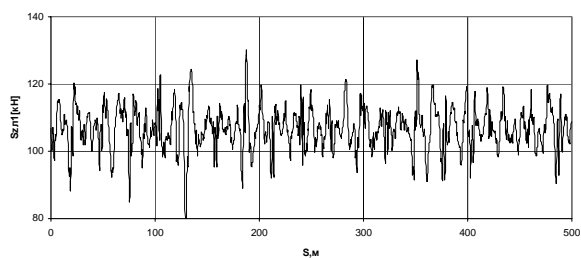


Рис. 21. Вертикальная сила в связи  
Левый скользун 1 – Кузов (Прямая)

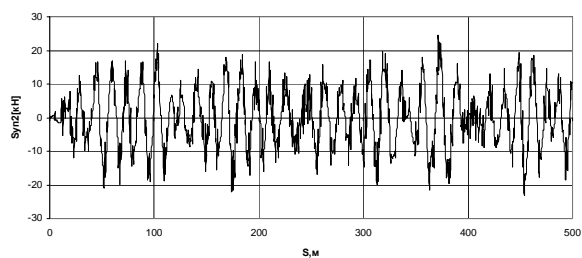


Рис. 26. Горизонтальная сила в связи  
Левый скользун 2 – Кузов (Прямая)

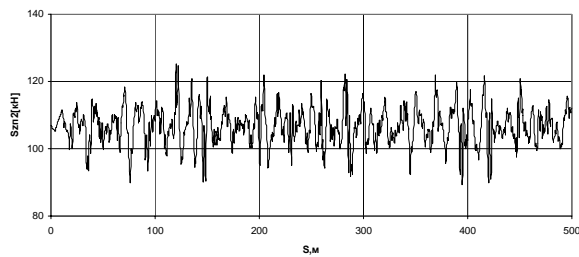


Рис. 27. Вертикальная сила в связи Правый скользящий 2 – Кузов (Прямая)

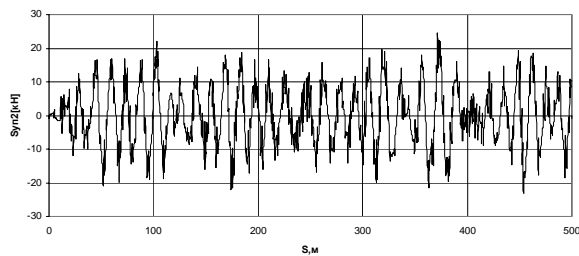


Рис. 28. Горизонтальная сила в связи Правый скользящий 2 – Кузов (Прямая)

А именно, предложенная математическая модель может быть использована при определении динамических нагрузок в процессе расчета кузова на прочность. Так, в «Нормах ...» [12] при расчете кузовов пассажирских вагонов на прочность предлагается определять коэффициент вертикальной динамики по формуле:

$$K_{дв} = \frac{\overline{K_{дв}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(K_{дв})}}, \quad (1)$$

где  $\overline{K_{дв}}$  – среднее вероятное значение коэффициента вертикальной динамики (определяется для скоростей движения, больших 15 м/с, по формуле:  $\overline{K_{дв}} = a + 3.6 \cdot 10^{-4} b \frac{V-15}{f_{ст}}$ ,  $a = 0.05$ ,

$b = 1$ ,  $f_{ст} = 0.015$  м;

$\beta$  – параметр распределения случайной величины  $K_{дв}$  (для пассажирских вагонов равен 1);

$P(K_{дв})$  – расчетная вероятность (принимается равной 0.97).

Рассчитанная по этим формулам величина коэффициента вертикальной динамики для диапазона скоростей 55...125 км/ч составляет 0.10...0.12. В то же время, по полученным в результате расчетов величинам вертикальных сил можно установить, что величина коэффициента вертикальной динамики во всех рассмотренных вариантах расчетов составляет примерно 0.21...0.23. Эти величины примерно

в 2 раза выше, чем полученные по принятым при расчетах кузовов на прочность формулам.

Таким образом, учет сил динамического взаимодействия кузова и наддресорных балок тележек способствует уточнению в определении характеристик связей и систем гашения колебаний, а также позволяет совершенствовать расчеты кузова на прочность и приблизить результаты математического моделирования к реальности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блохин Е. П. Математическая модель пространственных колебаний четырехосного рельсового экипажа / Е. П. Блохин, В. Д. Данович, Н. И. Морозов. – Д.: Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта, 1986. – 39 с. – Рус. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 29.09.86, № 7252 ж.д.
2. Мямлин С. В. Математическая модель пространственных колебаний пассажирского вагона / С. В. Мямлин, В. И. Приходько // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2006, № 8. – С. 266-276.
3. Данович В. Д. Пространственные колебания вагонов на инерционном пути: Дис. докт. техн. наук: 05.22.07. – Д., 1981. – 465 с.
4. Теоретичні дослідження динаміки пасажирського вагону для швидкостей руху до 250 км/год: Звіт про НДР (заключ.) / Науково-виробниче підприємство «Укртранскад». – 4-107/ЮР; № ДР 0106U007472; Інв. № 0307U007208. – Д., 2006. – 386 с.
5. Мямлин С. В. Улучшение динамических качеств рельсовых экипажей путем усовершенствования характеристик рессорного подвешивания: Дис. докт. техн. наук: 05.22.07. – Д., 2004. – 455 с.
6. Мямлин С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с.
7. Мямлин С. В. Зависимость между дисперсиями неровностей рельсовых нитей и динамическими показателями экипажа // Залізничний транспорт України, 2001, № 5. – С. 27-29.
8. Pshin'ko O., Myamlin S. Modeling of rail line irregularities using estimation of their correlation functions // Proc. XIV Konf. Naukowa «Pojazdy Szynowe na przelomie wieków», Т. 3. – Kraków (Poland), 2000. – P. 101-108.
9. Чеботарьов В. І. Візок пасажирського вагона: Пат. 74902 Україна, МПК (2006) В 61 F 3/00, В 61 F 5/02 / В. І. Чеботарьов, В. І. Приходько, Б. О. Коробка, А. О. Радзіховський, Л. І. Назаренко, І. В. Шавлак, О. А. Шкабров, В. В. Єрмаков, В. М. Прохоров, С. А. Данилко, В. М. Шилиєв, О. В. Маначинський; ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод». –

- № 2004010153; Заявл. 09.01.2004; Опубл. 15.02.2006; Бюл. № 02, 2006.
10. Чеботарьов В. І. Візок пасажирського вагона: Деклараційний пат. 11119 Україна, МПК7 В 61 F 3/00 / В. І. Чеботарьов, В. І. Приходько, С. О. Данилко, Б. А. Коробка, О. А. Шкабров, О. В. Маначинський, А. І. Фомін; ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод». – № 200504844; Заявл. 23.05.2005; Опубл. 15.12.2005; Бюл. № 12, 2005.
  11. Пшинько А. Н. Оценка динамических качеств пассажирского купейного вагона модели 61-779 / А. Н. Пшинько, С. В. Мямлин, П. А. Ягода, А. В. Донченко, Л. М. Лобойко, В. И. Приходько, Г. С. Игнатов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна, 2005, № 7. – С. 39-46.
  12. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: МПС РФ, 1996.

Поступила в редколлегию 03.03.2008.