

*Досліджені динамічні якості вагону хоперу на візках моделі 18-1711 при його русі по прямолінійним відрізкам колії та криволінійним відрізкам колії. В якості збурень задані геометричні нерівності колії у вертикальній і горизонтальній поперечній площинах. Виконано порівняння динамічних показників вагону хоперу на візках моделі 18-1711 та вагону хоперу на візках моделі 18-100*

*Ключові слова: динамічні показники, візок моделі 18-1711, моделювання руху, вагон хопер*

*Исследованы динамические качества вагона хоппера с тележками модели 18-1711 при его движении по прямолинейным участкам пути и криволинейным участкам пути. В качестве возмущений заданы геометрические неровности пути в вертикальной и горизонтальной поперечной плоскостях. Выполнено сравнение динамических показателей вагона хоппера с тележками модели 18-1711 и вагона хоппера с тележками модели 18-100*

*Ключевые слова: динамические показатели, тележка модели 18-1711, моделирование движения, вагон хоппер*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАГОНОВ ХОППЕРОВ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕЛЕЖКАХ

**Е. А. Письменный**

Заместитель директора

Научно-исследовательский институт подвижного состава пути и транспортных сооружений

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта

им. академика В. Лазаряна

ул. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010

E-mail: diit\_ndi@ua.fm

## 1. Введение

Современный уровень развития железнодорожного транспорта предъявляет все большие требования к качеству подвижного состава. Для повышения скорости движения поездов, осевых нагрузок и обеспечения сохранности грузов железным дорогам нужны надежные и безопасные грузовые вагоны, оборудованные тележками нового поколения с высокими технико-экономическими параметрами. Отечественными вагоностроительными заводами разрабатывается новое поколение грузовых вагонов, отличительной особенностью которых является повышенная надежность и экономичность. В тележках новых вагонов применяются конструктивные решения, обеспечивающие уменьшенное воздействие на путь и повышенную устойчивость, нормальную работу от постройки до первого капитального ремонта и между капитальными ремонтами. Усовершенствованные тележки позволяют получить экономический эффект за счет уменьшения расходов на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава.

Улучшение динамических качеств грузовых вагонов за счет совершенствования технических характеристик ходовых частей является одной из самых актуальных проблем железнодорожного транспорта.

## 2. Литературный обзор и постановка проблемы

Перспективные вагоны нового поколения должны обеспечить максимальное использование пропускной способности наиболее загруженных участков железных дорог и увеличение объемов перевозок за счет повышенной погонной нагрузки подвижного состава и скорости перевозок. При этом должна обеспечиваться

безопасность движения поездов, сохранность перевозимого груза и верхнего строения пути за счет существенного улучшения динамических качеств вагонов.

Решение этих задач может быть достигнуто, прежде всего, за счет создания новых или модернизации существующих ходовых частей [1, 6].

В настоящее время около 85 % грузовых вагонов, используемых на железных дорогах стран СНГ, оснащены тележками модели 18-100, либо идентичными модернизированными тележками [2, 7]. Модель 18-100 серийно выпускается с 1956г. и на сегодняшний день уже не отвечает требованиям, предъявляемым к вагонам нового поколения. Кроме того, тележка имеет неудовлетворительную характеристику при вписывании в кривые, значительный износ колес и рельсов, склонность к самовозбуждению колебаний виляния во время движения по прямым участкам пути и пологим кривым [3]. Поэтому работы, направленные на совершенствование конструкции тележек грузовых вагонов, выпускаемых вагоностроительными заводами СНГ, актуальны и проводятся на основе расширенных теоретических исследований, использования вычислительной техники, появления статистических данных об эксплуатации тележек в реальных условиях, а также развития технологии производства [4, 5].

На сегодняшний день практически все вагоностроительные заводы создали свои аналоги тележек модели 18-100 под своими номерами и теперь подкатывают их под грузовые четырехосные магистральные вагоны с осевыми нагрузками до 230 кН (23,5 тс) и скоростями движения до 120 км/ч [8, 9]. Специалистами ОАО «Азовмаш» (Украина) была разработана новая тележка грузовых вагонов модели 18-1711, учитывающая современные требования, предъявляемые к ходовым частям подвижного состава [10].

Конструкция этой тележки рассчитана на осевую нагрузку до 25,0 тс, и отличается высокой усталостной прочностью. Значения коэффициента запаса сопротивления усталости по результатам испытаний существенно больше допускаемого нормативного значения.

Эти результаты достигнуты за счет более рационального и усиленного исполнения зон, наиболее подверженных разрушениям в эксплуатации, а также совершенствования технологического процесса изготовления отливок. Использование таких тележек, безусловно, требует проведения целого ряда исследований, направленных на подтверждение ее динамических качеств не только для полувагонов, но и для других типов грузовых вагонов. Наиболее распространенными, кроме полувагонов, являются цистерны и хопперы [11].

Целью настоящего исследования является построение математической модели тележек модели 18-1711 и определение динамических характеристик вагонов хопперов, при установке их эти тележки.

**3. Определение исходных данных для моделирования движения**

Для расчетов был выбран вагон хоппер со следующими инерционными характеристиками (табл. 1).

В качестве возмущений заданы геометрические неровности пути в вертикальной и горизонтальной поперечной плоскостях, такие чтобы динамические показатели широко используемого в эксплуатации вагона хоппера на тележках модели 18-100 укладывались в допустимый диапазон при скоростях движения до 80 км/ч

для порожнего и при скоростях до 90 км/ч для груженого. Оценка динамических свойств вагона хоппера с тележками 18-1711 проводилась по следующим нормативным динамическим показателям: коэффициент вертикальной динамики рамы тележки Кдв, коэффициент горизонтальной динамики рамы тележки Кдг, коэффициент запаса устойчивости от схода вагона с рельсов Ку. Тележка 18-1711 представляет собой трехэлементную конструкцию, состоящую из двух боковых рам и наддресорной балки. В тележке реализовано центральное рессорное подвешивание с билинейной характеристикой и фрикционные клиновые гасители колебаний пространственного действия. Буксовый узел тележки 18-1711 имеет упругую вставку, работающую как упругий элемент во всех трех направлениях, поэтому можно считать тележку 18-1711 имеющую две ступени подвешивания. Предельно допустимые величины основных динамических показателей для вагонов хопперов с тележкой имеющей надбуксовое подвешивание приведены в табл. 2.

Таблица 2

Предельно допустимые величины основных динамических показателей для вагонов хопперов с тележками модели 18-1711

Показатель	Величина показателя	
	Порожний	Груженный
Коэффициент вертикальной динамики (Кдв)	0,95	0,8
Рамная сила (Кдг)	0,4	0,38
Коэффициент запаса устойчивости (Ку)	1,4	1,4

Таблица 1

Инерционные параметры объектов хоппера (в числителе – груженого, в знаменателе – порожнего)

Объект	Масса [т]	Моменты инерции [т*м <sup>2</sup> ]			Координаты центра масс [м]		
		Jz	Jy	Jx	X	Y	Z
Основание	0	0	0	0	0	0	0
Тележка 1							
Левый рельс 1	0,5	0	0	0	0	-0,79	0
Правый рельс 1	0,5	0	0	0	0	0,79	0
Колесная пара 1	1,37	1	0,1	1	0	0	0,475
Левый рельс 2	0,5	0	0	0	1,85	-0,79	0
Правый рельс 2	0,5	0	0	0	1,85	0,79	0
Колесная пара 2	1,37	1	0,1	1	1,85	0	0,475
Левая боковая рама 1	0,68	0,22	0,22	0	0,925	-1,02	0,5
Правая боковая рама 1	0,68	0,22	0,22	0	0,925	1,02	0,5
Надресорная балка 1	0,45	0,3	0,05	0,3	0,925	0	0,6
Тележка 2							
Левый рельс 3	0,5	0	0	0	9,5	-0,79	0
Правый рельс 3	0,5	0	0	0	9,5	0,79	0
Колесная пара 3	1,37	1	0,1	1	9,5	0	0,475
Левый рельс 4	0,5	0	0	0	11,35	-0,79	0
Правый рельс 4	0,5	0	0	0	11,35	0,79	0
Колесная пара 4	1,37	1	0,1	1	11,35	0	0,475
Левая боковая рама 2	0,68	0,22	0,22	0	10,425	-1,02	0,5
Правая боковая рама 2	0,68	0,22	0,22	0	10,425	1,02	0,5
Надресорная балка 2	0,45	0,3	0,05	0,3	10,425	0	0,6
Кузов							
Кузов	61,6/9,9	411/80,4	398/81,2	87,8/28,8	5,675	0	2,2/1,92

**4. Определение динамических характеристик вагона хоппера тележками модели 18-1711 и вагона хоппера с тележками модели 18-100**

Далее выполнено математическое моделирование движения порожнего хоппера по прямому участку пути (рис. 1), кривым среднего (600м) (рис. 2) и малого (300м) (рис. 3) радиусов, и груженого вагона хоппера по прямому участку (рис. 4), кривым среднего (600 м) (рис. 5) и малого (300 м) (рис. 6) радиусов с вышеупомянутыми неровностями рельсовых нитей. [12].

Математическое моделирование движения хоппера по железнодорожному пути было выполнено с учетом современного мирового опыта в этой области [13].

На графиках показана зависимость динамических показателей хоппера от скорости движения. Результаты этих расчетов в дальнейшем будут

использованы, как эталонные значения для сравнения их с результатами для вагона хоппера на тележках модели 18-1711. На рис. 1 – 6 результаты для вагона хоппера на тележках 18-100 показаны черной сплошной линией с

квадратными маркерами, а для вагона хоппера на тележках 18-1711 - черной сплошной линией с треугольными маркерами. Пунктирной линией показано нормируемое значение.

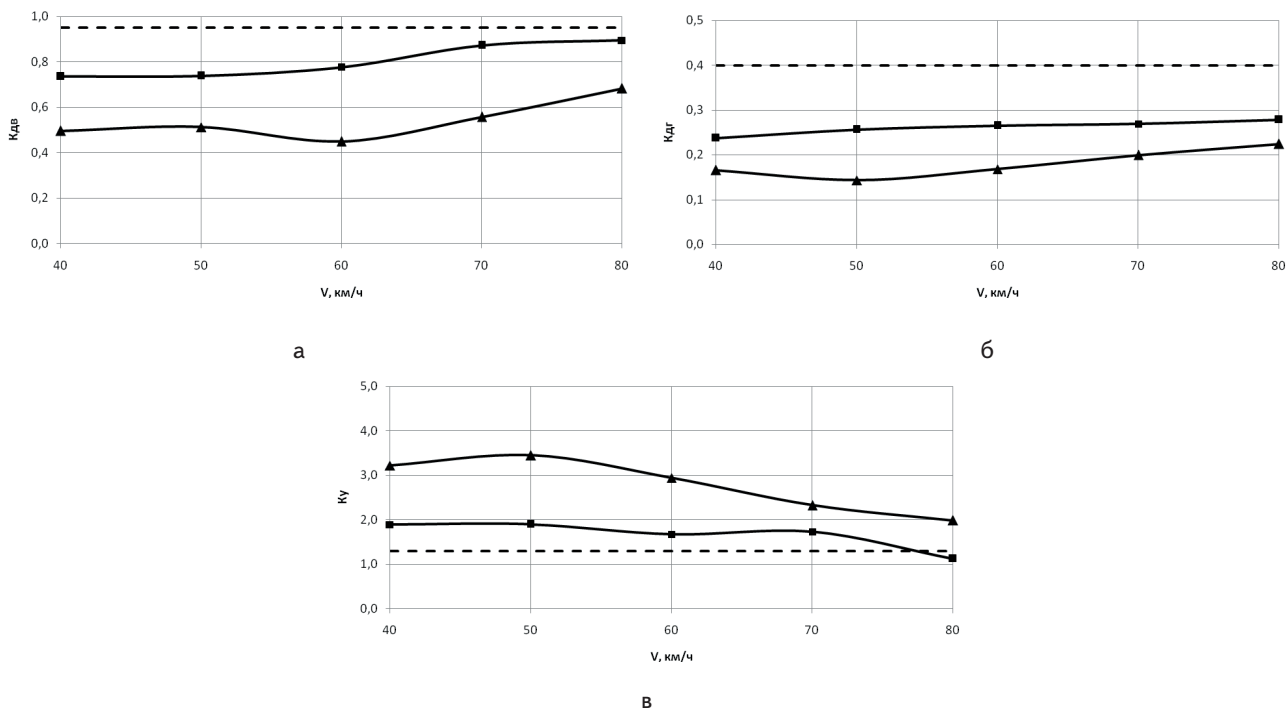


Рис. 1. Графики зависимости динамических показателей порожнего хоппера от скорости движения (Прямая): а – коэффициенты вертикальной динамики; б – коэффициенты горизонтальной динамики; в – коэффициенты запаса устойчивости

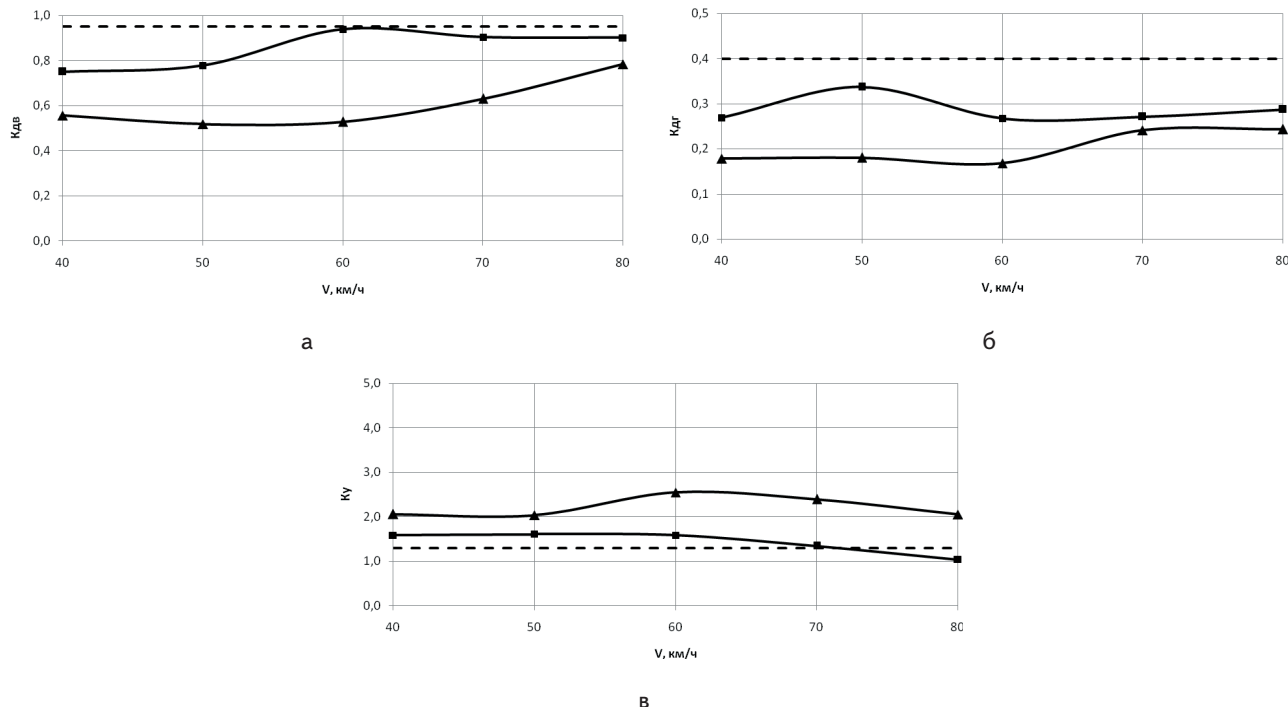


Рис. 2. Графики зависимости динамических показателей порожнего хоппера от скорости движения (Кривая 600 м): а – коэффициенты вертикальной динамики; б – коэффициенты горизонтальной динамики; в – коэффициенты запаса устойчивости

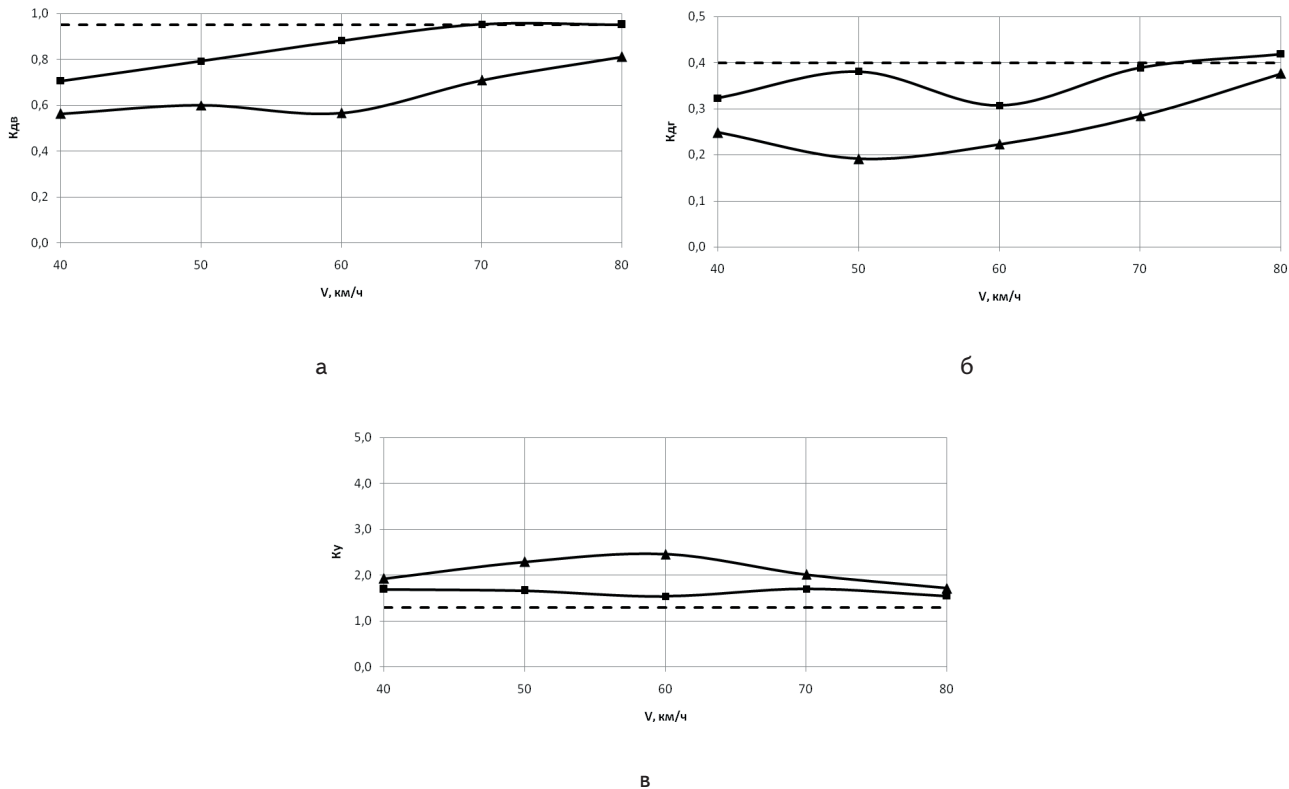


Рис. 3. Графики зависимости динамических показателей порожнего хоппера от скорости движения (Кривая 300 м):  
 а – коэффициенты вертикальной динамики;  
 б – коэффициенты горизонтальной динамики;  
 в – коэффициенты запаса устойчивости

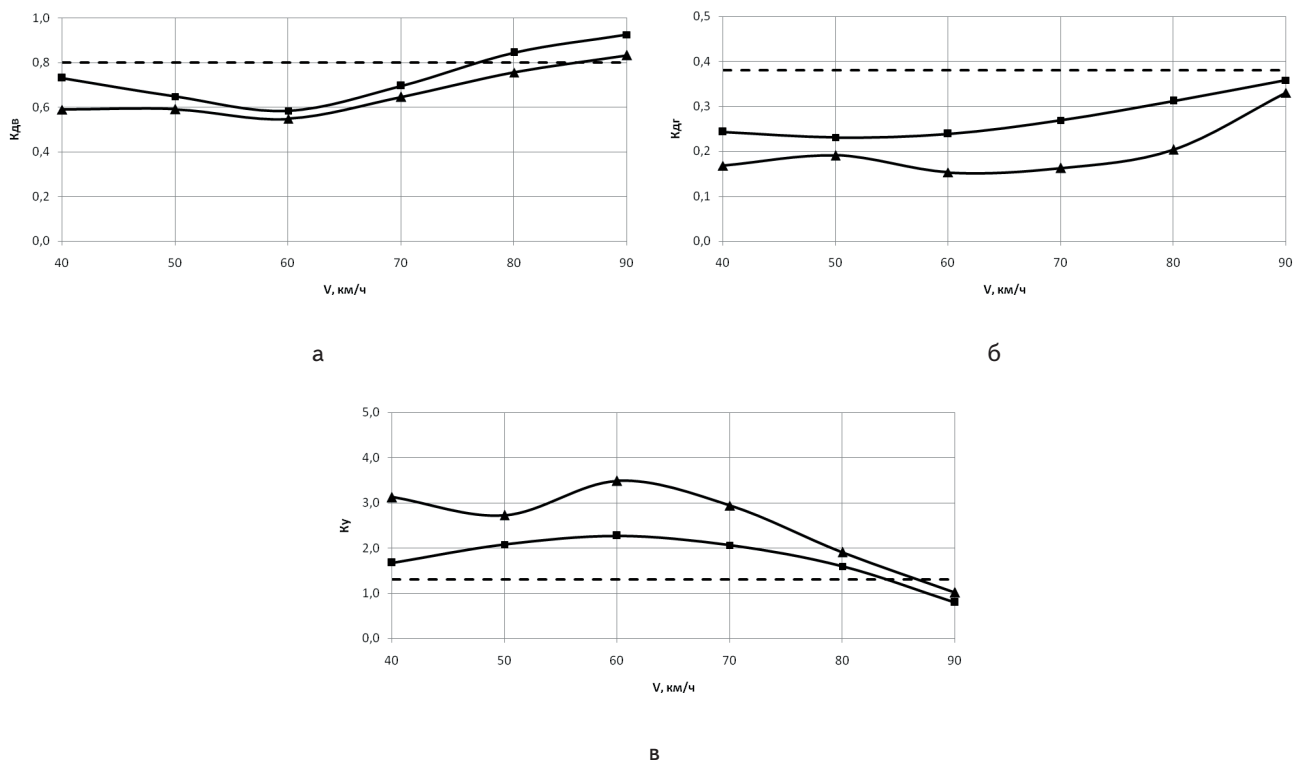


Рис. 4. Графики зависимости динамических показателей груженого хоппера от скорости движения (Прямая):  
 а – коэффициенты вертикальной динамики;  
 б – коэффициенты горизонтальной динамики;  
 в – коэффициенты запаса устойчивости

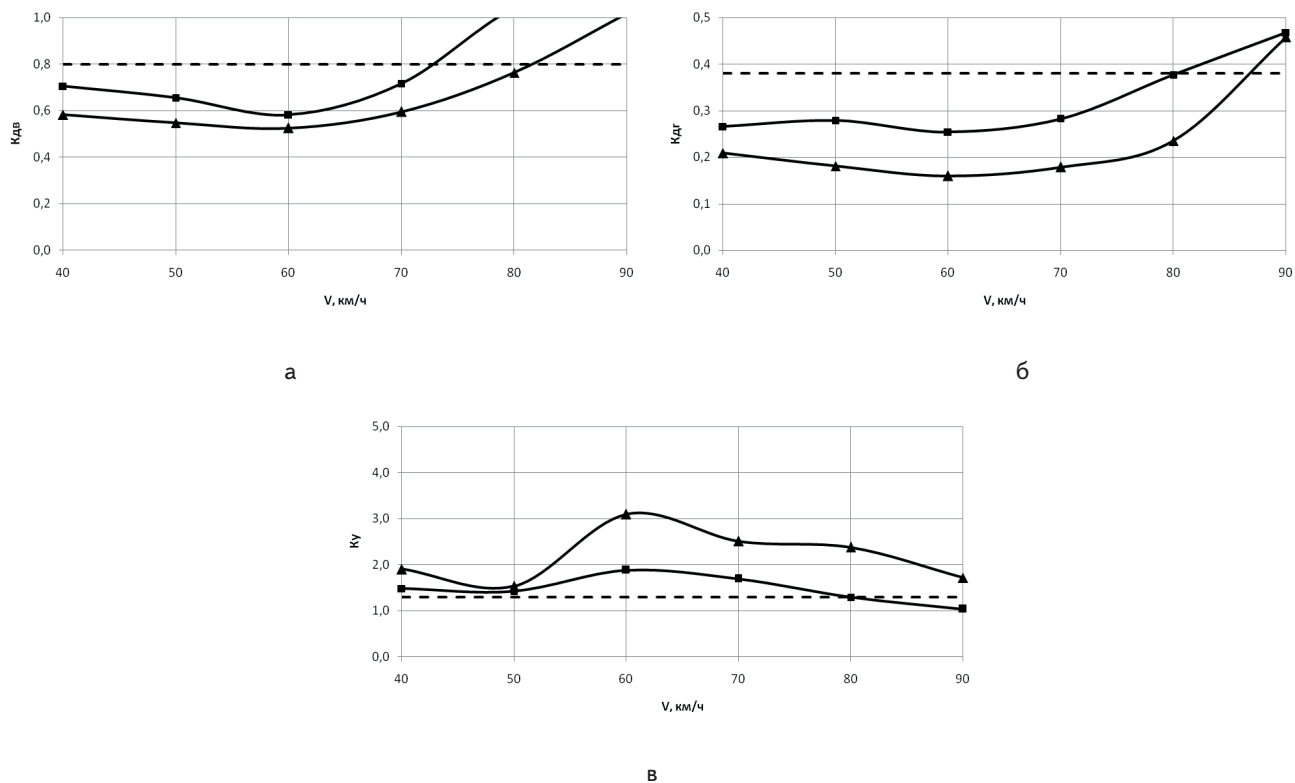


Рис. 5. Графики зависимости динамических показателей груженого хoppers от скорости движения (Кривая 600 м):  
 а – коэффициенты вертикальной динамики;  
 б – коэффициенты горизонтальной динамики;  
 в – коэффициенты запаса устойчивости

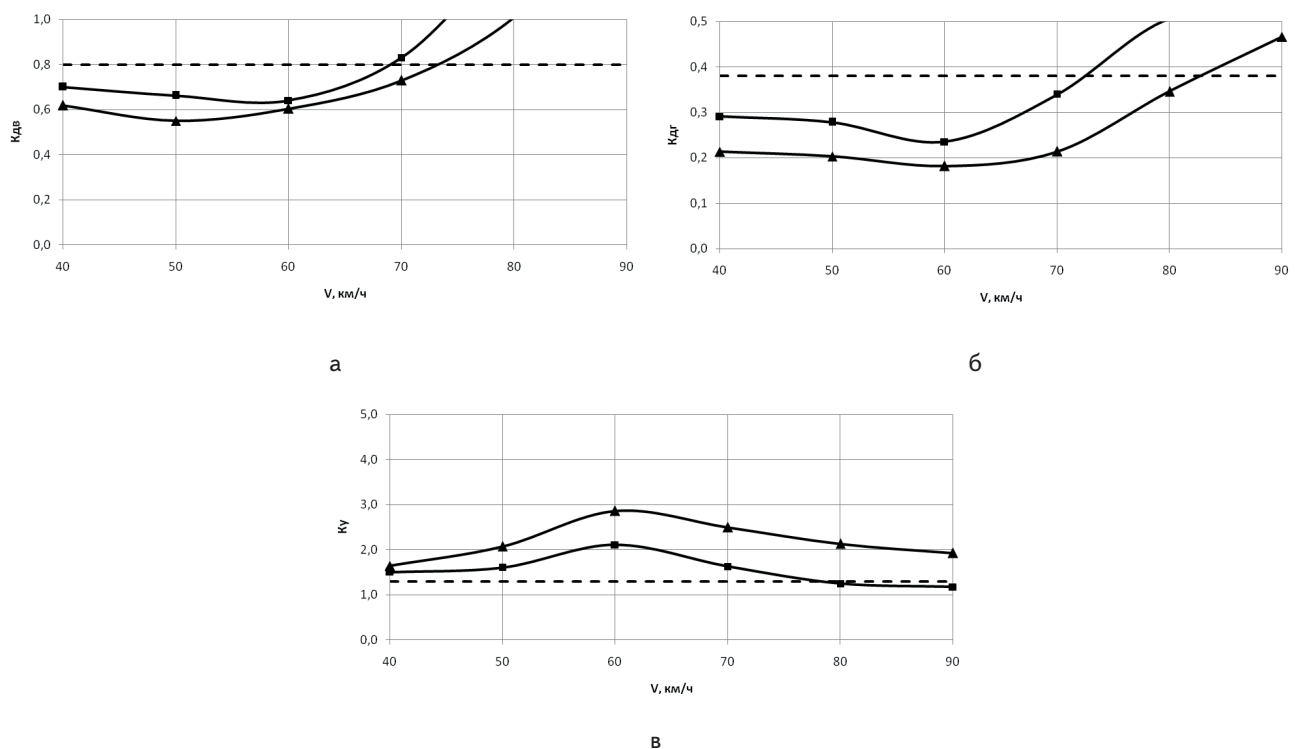


Рис. 6. Графики зависимости динамических показателей груженого хoppers от скорости движения (Кривая 300 м):  
 а – коэффициенты вертикальной динамики;  
 б – коэффициенты горизонтальной динамики;  
 в – коэффициенты запаса устойчивости

На графиках, изображенных на рис. 1 - 6 наглядно показаны сравнительные данные зависимостей динамических показателей хоппера на тележках 18-100 и 18-1711 от скорости движения по разным профилям пути в груженом и порожнем состоянии. На них хорошо видно, что динамические показатели хоппера на тележках 18-1711 в значительной степени лучше, чем на тележках 18-100. Это говорит о том, что применение в центральном подвешивании тележки модели 18-1711 рессорного комплекта с билинейной характеристикой позволяет снизить величины основных динамических показателей хоппера в сравнении с хоппером на тележках 18-100.

## 5. Выводы

1. Получено существенное улучшение динамических показателей порожнего хоппера на тележках модели 18-1711 в сравнении с таким же вагоном на тележках 18-100. Среди 3-х основных динамических показателей наиболее существенно снизилась величина коэффициента вертикальной динамики (Квд) во всем рассмотренном диапазоне скоростей. Этот вывод справедлив для прямого участка пути, для кривой среднего радиуса и, в меньшей степени, для кривой малого радиуса. Такой результат объясняется тем, что

для порожнего хоппера статический прогиб рессорных комплектов центрального подвешивания приходится на участок характеристики меньшей жесткости.

2. Для груженого хоппера динамические показатели также улучшились, хотя и в меньшей степени. Здесь большее улучшение проявилось для коэффициента горизонтальной динамики (Кдг). Это происходит потому, что для груженого хоппера рессорный комплект центрального подвешивания работает на участке характеристики, имеющей практически такую же жесткость, как и у тележки 18-100.

3. Для груженого и порожнего хоппера в большей степени улучшение динамических показателей проявились при движении по прямому участку пути. На кривых среднего и малого радиусов эти улучшения менее заметны, в связи с тем, что при движении в кривых на динамику вагона существенное влияние оказывает величина непогашенного ускорения.

4. Применение в центральном подвешивании тележки модели 18-1711 рессорного комплекта с билинейной характеристикой позволило снизить величины основных динамических показателей хоппера в сравнении с хоппером на тележках 18-100. В свою очередь это позволит увеличить допустимую скорость движения порожнего и груженого хоппера в особенности на прямых участках пути.

## Литература

1. Лашко, А. Д. Двухосная тележка для грузовых вагонов нового поколения с нагрузкой от оси на рельсы 245 кН [Текст] / А. Д. Лашко, А. А. Радзиховский // Научно-практический журнал «Залізничний транспорт України». – 2007. – № 2. – С. 53–57.
2. Ушкалов, В. Ф. Оценка эффективности применения разных вариантов модернизации тележек модели 18-100 для вагонов-хопперов и платформ [Текст] / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, И. Ю. Малышева, И. А. Машенко // Научно-практический журнал «Залізничний транспорт України». – 2012. – № 3/4. – С. 62–65.
3. Цыган, Б. Г. Современное состояние и перспективы развития ходовых частей грузового подвижного состава [Текст] / Б. Г. Цыган, С. Д. Мокроусов // Трансмаш. – 2012. – № 9. – С. 20–23.
4. Афанасьев, Е. В. Совершенствовать ходовую часть вагонов [Текст] / Е. В. Афанасьев, А. В. Додонов // Ежеквартальный производственно-технический и научно-популярный журнал «Вагоны и вагонное хозяйство». – 2010. – № 1(21). – С. 32–36.
5. Петров, Г. И. Этапы и перспективы развития конструкции двухосных тележек грузовых вагонов [Текст] / Г. И. Петров, В. Н. Филиппов, Н. К. Игембаев, А. Г. Петров // Железнодорожный транспорт. – 2010. – №2. – С. 33–36.
6. Тихвинский завод выпустил первые серийные вагоны на тележках «Barbet» [Текст] // Ежеквартальный производственно-технический и научно-популярный журнал «Вагоны и вагонное хозяйство». – 2013. – № 1(33). – 40 с.
7. Бондаренко, А. Ф. Детали фрикционного узла гасителя колебаний с улучшенными характеристиками [Текст] / А. Ф. Бондаренко, А. А. Гореньков, Ю. А. Базанов, В. М. Федин, А. И. Борц // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 12. – С. 39–41.
8. Цыган, Б. Г. Современное состояние и перспективы развития ходовых частей грузового подвижного состава [Текст] / Б. Г. Цыган, С. Д. Мокроусов // Международный информационный научно-технический журнал «Вагонный парк». – 2011. – № 8. – С. 30–35.
9. Орлова, А. М. Тележка модели 18-9810: современные технологии, безопасность движения, снижение износов [Текст] / А. М. Орлова, Е. А. Щербakov // Ежеквартальный производственно-технический и научно-популярный журнал «Вагоны и вагонное хозяйство». – 2010. – № 2 (22). – С. 24–26.
10. Bubnov, V. M. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711 [Text] / V. M. Bubnov, S. V. Myamlin, N. V. Mankevich // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. – 2013. – № 32. – С. 118–126.
11. Бубнов, В. М. Воздействие на путь грузовых вагонов на тележках модели 18-1711 с разной конструкцией клина рессорного подвешивания [Текст] / В. М. Бубнов, С. В. Мямлин, Н. Б. Манкевич // Журнал о науке, экономике, практике «Транспорт Российской Федерации». – 2013. – № 3(46). – С. 36–38.
12. Мямлин, С. В. Моделирование пространственных колебаний поезда [Текст] / С. В. Мямлин, Е. А. Письменный, В. В. Жижко, И. В. Юрцевич // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 3. – С. 45–47.
13. Shabana, A. A Survey of Rail Vehicle Track Simulations and Flexible Multibody Dynamics [Text] / A. A. Shabana, J. R. Sany // University of Illinois at Chicago; Center for Automated Mechanics (CAM) Nonlinear Dynamics (Impact Factor: 3.01). – 2001 – № 26(2). – P. 179-212.