



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ВАГОНОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ДВУХСИСТЕМНОГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЕКр-1 «ТАРПАН»

А. Н. Пшинько, д. т. н., профессор,

С. В. Мямлин, д. т. н., профессор,

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна;

М. В. Крамаренко, технический директор, В. Н. Дузик, директор по маркетингу,

ПАО «Крюковский вагоностроительный завод»

Создание новых конструкций подвижного состава железных дорог, как правило, сопровождается выполнением не только нормативных расчетов, но и теоретических исследований и последующих испытаний. При этом, теоретические исследования новых конструкций вагонов — это актуальная научно-прикладная задача для транспортного машиностроения Украины в целом.

Определение характеристик и параметров создаваемых конструкций на стадии проектирования и изготовления опытных образцов органично дополняется теоретическими исследованиями по выбору рациональных параметров основных узлов и систем подвижного состава [1-5]. Поэтому проведение теоретических исследований новых конструкций вагонов электропоездов представляет собой актуальную научно-прикладную задачу не только для железнодорожного транспорта, но и для транспортного машиностроения Украины.

Целью данного исследования является определение динамических показателей головного и промежуточного вагонов межрегионального двухсистемного электропоезда производства ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» [6-8] во всем диапазоне эксплуатационных скоростей движения.

Оценка динамических показателей выполнялась путем моделирования движения головного и промежуточного вагонов по прямому участку пути, а также по кривым среднего (600 м) и малого радиуса (300 м). При моделировании использовалась компьютерная программа «DYNRAIL» [9, 10]. Головной вагон электропоезда, по сути, является электровозом, поэтому выполнять расчеты его динамических показателей предлагается с учетом допустимых величин принятых для электровоза. Промежуточный вагон электропоезда является пассажирским вагоном, поэтому при выполнении расчетов по оценке его динамических показателей использовались допустимые величины динамических показателей для пассажирских вагонов.

В качестве возмущений использованы геометрические неровности рельсовых нитей, полученные согласно рекомендациям, изложенным в документе «Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов». Очевидно, что для промежуточного вагона использовались неровности пассажирского, а для головного — грузового вагона. Графики этих неровностей приведены на рис. 1–4.

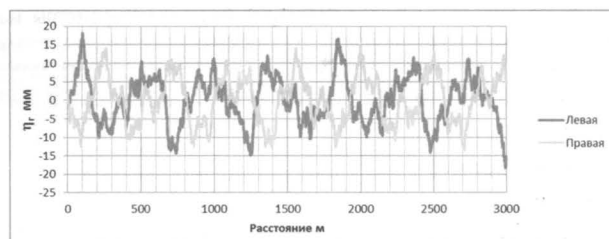


Рис. 1. Горизонтальные неровности η_h (промежуточный вагон)

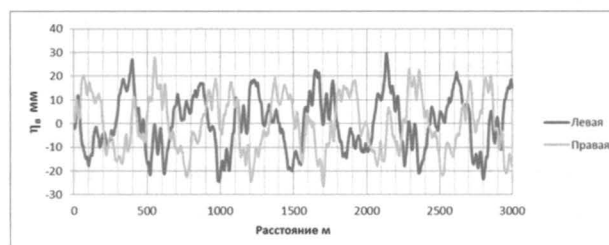


Рис. 2. Вертикальные неровности η_v (промежуточный вагон)

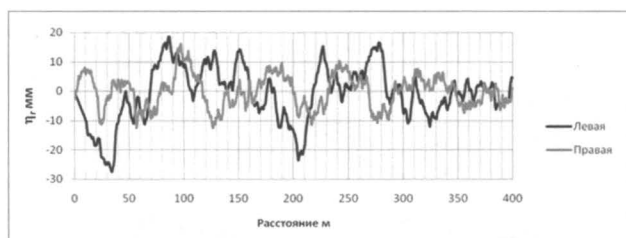


Рис. 3. Горизонтальные неровности η_g (головной вагон)

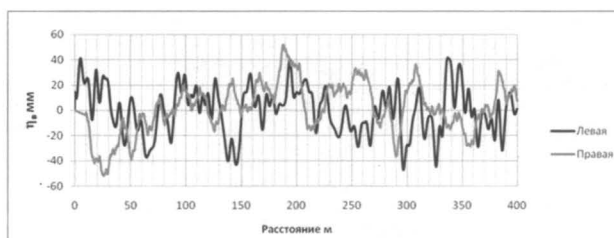


Рис. 4. Вертикальные неровности η_v (головной вагон)

Допустимые величины основных динамических показателей приведены в табл. 1.

На основании полученной от завода-изготовителя информации о конструктивных особенностях вагонов электропоездов разработаны математические модели пространственных колебаний головного и промежуточного вагонов. Данные математические модели учитывают не только расположение тел механической системы, которая позволяет выполнить математическое описание пространственных колебаний каждого структурного элемента (объекта) и всей конструкции в целом. При этом определяются усилия и перемещения в связях между объектами с учетом параметров этих связей. Расчетные параметры объектов математической модели головного вагона приведены в табл. 2, расчетные параметры математической модели промежуточного вагона — в табл. 3.

Далее, в табл. 4 приведены параметры основных связей (жесткость и вязкость) математической модели головного вагона электропоезда, а в табл. 5 — промежуточного вагона.

На рис. 5 и 6 приведены расчетные схемы тележек рассматриваемых вагонов.

Для оценки динамических показателей выполнены расчеты, моделирующие движение полученных пространственных моделей головного и промежуточного вагона электропоезда, а также объектов-эталонов по прямому пути и по кри-

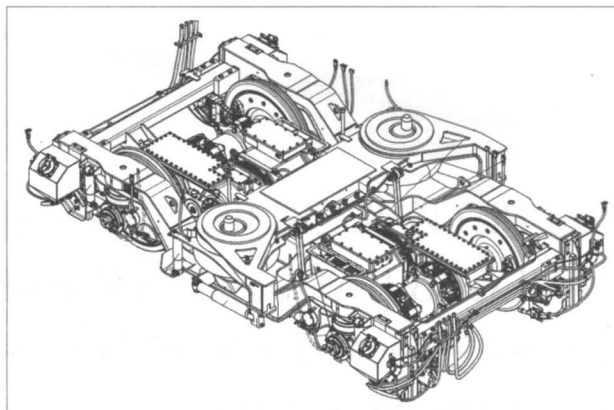


Рис. 5. 3D-модель тележки головного вагона электропоезда

вым среднего и малого радиусов. Динамические показатели головного вагона, который представляет собой тяговую единицу, сравнивались с объектом-эталон — электровозом ДС-3, в качестве объекта-эталона для промежуточного вагона выбран пассажирский вагон модели 61-779 на стандартных тележках КВЗ-ЦНИИ.

Кроме основных динамических показателей, на этих рисунках приведены еще два: показатель износа колес по поверхности катания (Пк) и показатель износа на гребне

Таблица 1. Допустимые величины основных динамических показателей

Нормируемая величина	Локомотив	Пассажирский вагон
Коэффициент вертикальной динамики первой ступени подвешивания (Кдвб)	0,35	0,35
Коэффициент горизонтальной динамики первой ступени подвешивания (Кдгб)	0,4	0,24
Коэффициент вертикальной динамики второй ступени подвешивания (Кдвц)	0,2	0,2
Коэффициент запаса устойчивости от вкатывания колеса на рельс (Ку)	1,4	1,8
Плавность хода в вертикальном и горизонтальном направлениях (Wв, Wг)	3,75	3,25

Таблица 2. Расчетные параметры математической модели головного вагона

Объект	Масса, (т)	Моменты инерции, (т · м ²)			Координаты центра масс* (м)		
		J _x	J _y	J _z	x	y	z
Рельс левый/правый 1	0,5	0	0	0	0	-0,79/0,79	0
Рельс левый/правый 2	0,5	0	0	0	2,8	-0,79/0,79	0
Колесная пара 1	1,838	1,2	0,16	1,2	0	0	0,475
Колесная пара 2	1,838	1,2	0,16	1,2	2,8	0	0,475
Рама тележки 1	8,324	1,4	2,7	4	1,4	0	0,55
Рельс левый/правый 3	0,5	0	0	0	19	-0,79/0,79	0
Рельс левый/правый 4	0,5	0	0	0	21,8	-0,79/0,79	0
Колесная пара 3	1,838	1,2	0,16	1,2	19	0	0,475
Колесная пара 4	1,838	1,2	0,16	1,2	21,8	0	0,475
Рама тележки 2	8,324	1,4	2,7	4	20,4	0	0,55
Кузов	48	76	1700	1700	10,9	0,1	1,935

*координаты центров масс объектов модели указаны: по вертикальной оси (Z) относительно уровня головок рельсов (УГР), по горизонтальной поперечной оси (Y) относительно оси пути, по горизонтальной продольной оси (X) относительно продольной оси 1-й колесной пары.

Таблица 3. Расчетные параметры математической модели промежуточного вагона

Объект	Масса, (т)	Моменты инерции, ($\text{т} \cdot \text{м}^2$)			Координаты центра масс* (м)		
		Jx	Jy	Jz	x	y	z
Рельс левый/правый 1	0,5	0	0	0	0	-0,79/0,79	0
Рельс левый/правый 2	0,5	0	0	0	2,8	-0,79/0,79	0
Колесная пара 1	1,795	1,2	0,16	1,2	0	0	0,475
Колесная пара 2	1,795	1,2	0,16	1,2	2,8	0	0,475
Рама тележки 1	3,726	0,7	2,4	3	1,4	0	0,55
Рельс левый/правый 3	0,5	0	0	0	19	-0,79/0,79	0
Рельс левый/правый 4	0,5	0	0	0	21,8	-0,79/0,79	0
Колесная пара 3	1,795	1,2	0,16	1,2	19	0	0,475
Колесная пара 4	1,795	1,2	0,16	1,2	21,8	0	0,475
Рама тележки 2	3,726	0,7	2,4	3	1,4	0	0,55
Кузов	46,168	76	1700	1700	10,9	0,1	1,935

*координаты центров масс объектов модели указаны: по вертикальной оси (Z) относительно УГР, по горизонтальной поперечной оси (Y) относительно оси пути, по горизонтальной продольной оси (X) относительно продольной оси 1-й колесной пары.

Таблица 4. Параметры основных связей математической модели головного вагона

Ступень подвешивания	Направление связи	Параметры связи
Буксовая	Вертикальная	$C = 1106 \text{ кН/м}$, $\beta = 5,3 \text{ кНс/м}$
	Поперечная	$C = 20000 \text{ кН/м}$
	Продольная	$C = 20000 \text{ кН/м}$
Центральная	Вертикальная	$C = 506 \text{ кН/м}$, $\beta = 14 \text{ кНс/м}$
	Поперечная	$C = 85 \text{ кН/м}$, $\beta = 18 \text{ кНс/м}$
	Продольная	$C = 201 \text{ кН/м}$, $\beta = 168 \text{ кНс/м}$
	Боковая качка	$C = 1600 \text{ кН/рад}$

Таблица 5. Параметры основных связей математической модели промежуточного вагона

Ступень подвешивания	Направление связи	Параметры связи
Буксовая	Вертикальная	$C = 1108 \text{ кН/м}$, $\beta = 5,3 \text{ кНс/м}$
	Поперечная	$C = 20000 \text{ кН/м}$
	Продольная	$C = 20000 \text{ кН/м}$
Центральная	Вертикальная	$C = 556 \text{ кН/м}$, $\beta = 14 \text{ кНс/м}$
	Поперечная	$C = 150 \text{ кН/м}$, $\beta = 18 \text{ кНс/м}$
	Продольная	$C = 201 \text{ кН/м}$, $\beta = 168 \text{ кНс/м}$
	Боковая качка	$C = 1600 \text{ кН/рад}$

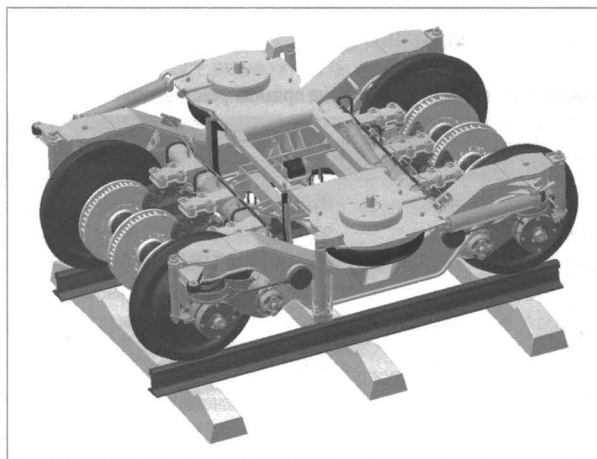


Рис. 6. 3D-модель тележки промежуточного вагона электропоезда

колеса (Пг). Величины этих показателей, хотя и не нормируются, но все же позволят дополнительно оценить качества исследуемых вагонов.

В табл. 6–11 приведены величины (выраженные в процентном отношении) динамических показателей исследуемых объектов по сравнению с объектами-эталоном при рассмотренных скоростях движения от 40 до 260 км/ч на различных участках пути: прямой, кривой радиусами 600 и 300 м. В последней строке каждой таблицы приведены средние величины для всего диапазона скоростей.

Из полученных результатов следует, что на прямом участке пути основные динамические показатели головного и промежуточного вагонов электропоезда не выходят за допустимые пределы при скоростях вплоть до 220 км/ч и выше. На кривых среднего радиуса величины динамических показателей не превышают допустимые значения для этих кривых при скоростях до 100 км/ч, а на кривых малого радиуса — до 80 км/ч, при этом имеется большой запас по всем величинам динамических показателей. Кроме этого, в рассмотренных диапазонах скоростей все полученные динамические показатели промежуточного и головного вагонов электропоезда лучше, чем у объектов-эталонов [10].

Таким образом, в результате выполнения теоретических исследований динамической нагруженности головного и промежуточного вагонов межрегионального двухсистемного

Таблица 6. Динамические показатели промежуточного вагона по отношению к объекту-эталоны на прямом участке пути

Проценты (Прямая, промежуточный вагон)								
V	Кдвб	Кдгб	Ку	Кдвц	Wв	Wг	Пк	Пг
40	61,3	73,2	100,0	47,6	84,1	68,2	100,9	82,6
60	58,7	78,4	102,1	54,5	88,9	66,7	94,4	96,3
80	67,2	82,4	98,7	45,9	88,0	72,0	88,5	82,8
100	74,9	87,9	106,1	52,3	81,8	72,0	87,3	82,4
120	73,0	94,2	100,0	56,8	80,3	71,2	81,5	80,9
140	66,8	105,4	99,9	73,3	81,3	66,7	75,8	75,8
160	79,2	105,5	103,7	90,9	86,5	63,4	72,4	74,5
180	78,5	90,9	106,9	92,1	89,9	60,5	67,2	75,6
200	79,7	85,1	119,4	84,8	90,1	58,3	60,6	73,3
220	83,1	82,3	120,3	88,6	92,9	56,5	52,6	69,0
240	86,6	79,7	117,5	94,6	97,4	55,6	47,9	70,6
260	88,8	77,8	131,1	97,0	100,7	54,9	43,4	74,5
Среднее	74,8	86,9	108,8	73,2	88,5	63,8	72,7	78,2

Таблица 7. Динамические показатели промежуточного вагона по отношению к объекту-эталоны на кривой радиусом 600 м

Проценты (Кривая 600 м, промежуточный вагон)								
V	Кдвб	Кдгб	Ку	Кдвц	Wв	Wг	Пк	Пг
40	95,6	85,4	102,5	78,0	89,5	92,6	54,0	83,6
60	63,5	87,4	100,0	63,8	94,8	66,8	53,8	85,2
80	80,4	87,9	126,7	75,0	94,1	69,1	55,5	83,0
100	91,9	98,0	144,1	77,3	87,5	92,5	63,9	85,2
120	91,3	81,1	240,4	82,1	85,7	97,1	59,1	79,0
Среднее	84,6	88,0	142,7	75,2	90,3	83,6	57,3	83,2

Таблица 8. Динамические показатели промежуточного вагона по отношению к объекту-эталоны на кривой радиусом 300 м

Проценты (Кривая 300 м, промежуточный вагон)								
V	Кдвб	Кдгб	Ку	Кдвц	Wв	Wг	Пк	Пг
40	90,8	89,0	122,7	80,5	81,1	88,5	52,7	88,0
50	59,5	95,0	112,0	61,8	79,7	61,6	53,6	86,7
60	82,9	87,2	121,7	70,3	86,3	60,6	56,3	88,2
70	97,4	94,7	130,2	77,1	90,3	66,9	60,6	82,8
80	94,8	92,2	128,3	85,7	85,9	86,7	67,5	83,8
90	98,6	58,6	153,3	86,5	82,3	90,1	75,3	86,3
Среднее	87,3	86,1	128,0	77,0	84,3	75,7	61,0	86,0

Таблица 9. Динамические показатели головного вагона по отношению к объекту-эталоны на прямом участке пути

Проценты (Прямая, головной вагон)								
V	Кдвб	Кдгб	Ку	Кдвц	Wв	Wг	Пк	Пг
40	101,9	135,4	99,5	56,3	67,6	95,2	135,3	72,3
60	90,8	132,6	106,8	71,9	79,4	99,0	123,0	74,9
80	96,3	88,0	123,7	61,3	71,4	101,8	94,9	67,6
100	90,6	88,3	124,5	49,0	64,9	92,8	70,5	56,8
120	76,3	79,6	136,6	54,3	63,2	80,2	68,7	46,1
140	63,6	89,8	113,6	47,2	64,4	76,6	60,6	46,4
160	75,9	84,3	134,0	64,0	72,6	68,3	55,9	47,8
180	90,1	82,6	117,6	80,6	78,8	69,5	55,9	47,5
200	84,8	87,9	118,8	90,5	84,6	71,3	63,6	50,8
220	89,3	82,9	104,2	97,4	90,8	78,0	63,5	56,7
240	88,8	90,4	101,6	91,5	95,3	83,2	66,6	64,6
260	82,6	94,9	98,6	91,4	94,4	80,6	69,5	66,5
Среднее	85,9	94,7	115,0	71,3	77,3	83,0	77,3	58,2

Таблица 10. Динамические показатели головного вагона по отношению к объекту эталону на кривой радиусом 600 м

Проценты (Кривая 600 м, головной вагон)								
V	Kдвб	Kдгб	Ky	Kдвц	Wв	Wг	Пк	Пг
40	81,4	101,7	106,9	62,8	80,6	75,2	84,5	68,6
60	76,4	102,7	107,7	55,3	94,5	66,7	91,8	73,0
80	82,6	70,3	114,8	75,9	85,0	70,0	91,8	66,7
100	85,2	76,3	153,5	71,8	77,3	80,6	74,2	59,5
120	87,5	85,6	165,5	77,0	80,4	72,7	67,0	53,4
Среднее	82,6	87,3	129,7	68,6	83,5	73,0	81,9	64,2

Таблица 11. Динамические показатели головного вагона по отношению к объекту-эталону на кривой радиусом 300 м

Проценты (Кривая 300 м, головной вагон)								
V	Kдвб	Kдгб	Ky	Kдвц	Wв	Wг	Пк	Пг
40	84,4	93,5	85,6	67,8	80,6	82,6	98,2	74,9
50	79,5	116,5	97,6	50,8	78,7	67,2	91,3	80,8
60	81,5	76,1	129,1	67,8	81,2	61,6	74,8	71,0
70	84,6	75,3	129,9	76,8	74,4	57,4	78,0	61,7
80	89,0	82,6	126,4	81,0	68,3	58,4	81,3	51,2
90	85,3	69,9	151,2	73,4	68,2	56,1	76,7	41,5
Среднее	84,1	85,6	120,0	69,6	75,2	63,9	83,4	63,5

электропоезда, производства ПАО «Крюковский вагоностроительный завод», получено теоретическое подтверждение конструкционной скорости движения, которая составляет 200 км/ч для прямолинейных участков пути, на существующей инфраструктуре железных дорог Украины. Проведенные динамические ходовые испытания межрегиональных электропоездов ЕКр-1 «Тарпан» подтвердили адекватность математических моделей и правильность выводов теоретических исследований динамических качеств вагонов электропоездов. Запас величин показателей динамики свидетельствует также о том, что потенциально конструкционная скорость разработанных электропоездов в предложенной комплектации с учетом дополнительной наладки и компоновки механической части вагонов достигает 250 км/ч. Эксперимент по определению показателей динамики и безопасности движения электропоездов, созданных на ПАО «КВСЗ», находится в стадии подготовки. Он позволит оценить не только динамические качества поездов, но и их тягово-энергетические характеристики, а также предусмотреть некоторые аспекты эксплуатации элементов инфраструктуры в режимах движения до 200–250 км/ч. Это даст возможность формирования как нормативной базы для организации опытной (подконтрольной) и постоянной эксплуатации подвижного состава на сети отечественных железных дорог со скоростями движения до 250 км/ч, так и оценить возможности инфраструктуры для обеспечения эксплуатации на таких скоростях. [8]

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Приходько, В. И. Определение динамических показателей пассажирских вагонов на различных тележках [Текст] / В. И. Приходько, Л. М. Лобойко, С. В. Мямлин // Внедрение наукоемких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте: IV междунар. научно-практич. конф., 9–13 июня 2008 г.: тезисы докл. — Д., 2008. — С. 3–4.
2. Приходько, В. И. Выбор оптимальных параметров скоростной тележки для пассажирского вагона [Текст] / В. И. Приходько, С. В. Мямлин // Залізничний транспорт України. — 2007. — № 3. — С. 58–62.
3. Приходько, В. И. Оптимальные параметры буксового и центрального подвешивания пассажирского вагона модели 61-779

на тележках КВЗ-ЦНИИ [Текст] / В. И. Приходько, С. В. Мямлин // Залізничний транспорт України. — 2007. — №6. — С. 42–48.

4. Мямлин, С. В. Теоретические основы определения рациональных параметров сложных механических систем [Текст] / С. В. Мямлин, В. И. Приходько // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізнич. тр-ту ім. акад. Лазаряна. — Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2007. — №16. — С. 85–89.
5. Мямлин, С. В. Оптимизация параметров рессорного подвешивания рельсовых экипажей [Текст] / С. В. Мямлин, А. Н. Пилинко // Вісник Східноукраїнського нац. університету ім. В. Даля. — Луганськ, 2003. — № 9 (67). — С. 79–85.
6. Приходько, В. И. Создание отечественных вагоностроителей и отраслевой науки в развитии железных дорог Украины [Текст] / В. И. Приходько, Е. Ф. Хворост, С. В. Лутошин, О. А. Шкабров, Ю. Н. Коваленко, А. Н. Пилинко, С. В. Мямлин, А. В. Донченко // Вагонний парк. — 2011. — №7. — С. 19–22.
7. Приходько, В. И. Межрегиональные поезда повышенной комфортности локомотивной тяги — новое слово в пассажирском вагоностроении Украины [Текст] / В. И. Приходько, Е. Ф. Хворост, С. В. Лутошин, О. А. Шкабров, Г. С. Игнатов, Ю. Н. Коваленко, В. В. Ларионов // Вагонний парк. — 2011. — № 7. — С. 14–18.
8. Приходько, В. И. Двухсистемный межрегиональный электропоезд повышенной комфортности с эксплуатационной скоростью 160, 180 и 200 км/ч для обслуживания пассажирских перевозок к Евро-2012 как неотъемлемая часть отечественной сети скоростного транспорта [Текст] / В. И. Приходько, Е. Ф. Хворост, С. В. Лутошин, О. А. Шкабров, Г. С. Игнатов, Ю. Н. Коваленко, В. В. Ларионов // Вагонний парк. — 2011. — №7. — С. 31–35.
9. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 7305. Комп'ютерна програма «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL») / Мямлін С. В.; Зареєстр. 20.03.2003.
10. Мямлин С. В. Оценка динамических показателей головного и промежуточного вагонов межрегионального двухсистемного электропоезда производства ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» [Текст] // Залізнич. трансп. України. — 2012. — № 5. — С. 48–56.