



УДК 656

© Д. П. Ходоскин, 2012

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ АВТОМОБИЛЯМИ ОТ ИХ СКОРОСТЕЙ ПО ВРЕМЕННЫМ И СКОРОСТНЫМ ДИАПАЗОНАМ

Ходоскин Д. П. – магистр технических наук, аспирант кафедры «Организация автомобильных перевозок и дорожного движения», тел.: 8(0232)606536, e-mail: mihh-19@mail.ru (БНТУ)

В статье представлен анализ полученных экспериментальным путем основных параметров на опытном регулируемом перекрестке (РПК), характеризующих движение лидирующего и ведомого автомобилей. В качестве таких параметров взяты: мгновенные скорости данных автомобилей, временной интервал между ними, выраженный в секундах, и дистанция, определяемая в метрах (выборки по этим параметрам обработаны с помощью компьютерной программы «Исследование распределения случайных величин»). На основе сделанных выводов выдвигается гипотеза о местоположении инертной зоны дилеммы. В статье исследуются зависимости временного интервала и дистанции между двумя автомобилями от их скоростей на четырех искомым расстояниях. По результатам их изучения делаются выводы о некоторых закономерностях движения лидирующего и ведомого автомобилей при подъезде к РПК на загорающий желтый сигнал, носящих постоянный характер.

The paper presents analysis of basic parameters characterizing the motion of the leading and driven car obtained experimentally for a signaled crossing (RSR). As such parameters were the instantaneous speed of these vehicles, the time interval between them, in seconds, and the distance, defined in meters (a sample of these parameters are processed by a computer program «Study of the distribution of random quantities»). Based on the findings a hypothesis about positioning of the inert zone dilemma is proposed. In this paper we study the dependence of the time interval and the distance between two cars on their velocities for the four required distances. The conclusions are made of some regularities in motion of the leading and the driven vehicle when these approach the RCR on the yellow signal.

Ключевые слова: зона дилеммы, регулируемый перекресток, лидирующий и ведомый автомобили, временной интервал, мгновенная скорость, дистанция.

Статья посвящена изучению динамики изменения параметров лидирующего и ведомого автомобилей при подъезде к РПК на загорающийся желтый сигнал. Затем на основе полученных результатов параметров делаются выводы, и выдвигается гипотеза о месте нахождения инертной зоны дилеммы (это зона, попадая в которую, водитель не имеет возможности ни безопасно остановиться, ни безопасно пересечь РПК), которая, в свою очередь, является причиной: во-первых, столкновений с ударом сзади, а во-вторых межфазных столкновений под прямым углом и наездов на пешеходов на удаленном (от входа на РПК) пешеходном переходе. В данном исследовании за изучаемые параметры были взяты: временной интервал между движущимися автомобилями и мгновенные скорости лидирующего и ведомого автомобилей. Автором разработана методика по сбору данных параметров, которая приведена в работах [1, 2]. Изучение этих параметров производилось на четырех расстояниях: при пересечении стоп-линии, 50 м, 100 м и 150 м до стоп-линии. В качестве опытного РПК был взят двухфазный т-образный перекресток г. Гомеля ул. Советская – ул. Головацкого.

Для решения поставленных задач необходимым является построение и исследование зависимостей временного интервала от мгновенных скоростей как ведомого, так и лидирующего автомобилей, потому что они лучше отражают все особенности изменения рассматриваемых экспериментальных параметров при подъезде к РПК. На рисунке 1 для примера приведена зависимость временного интервала от скорости ведомого автомобиля при пересечении стоп-линии.

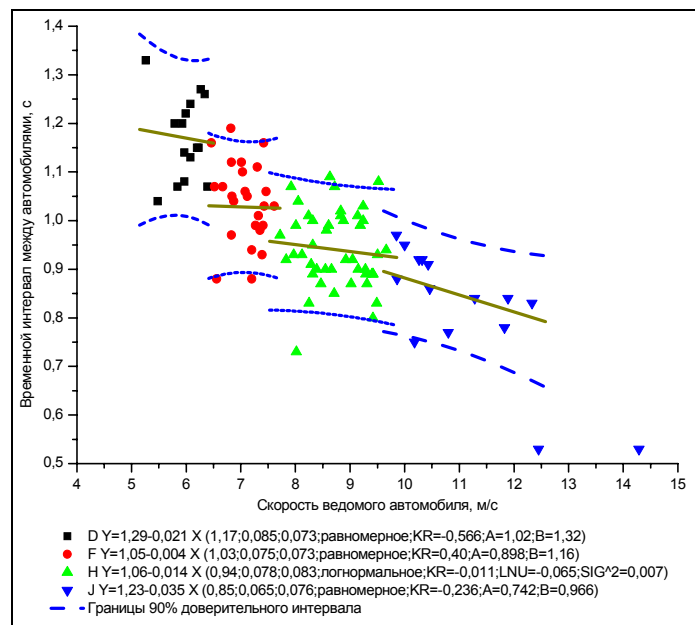


Рис. 1. Распределение зависимостей временного интервала от скорости ведомого автомобиля при пересечении стоп-линии по отдельным полям



На основе аналогичных графиков, построенных для обоих автомобилей и каждого из исследуемых расстояний, сформированы таблицы 1 и 2. Для более детальных исследований каждая из искомых зависимостей была разбита на отдельные поля точек.

В соответствии с результатами по разбивке, представленными в таблицах 1 и 2 и совмещенными рисунками (имеются ввиду рисунки, на которых совмещены графики зависимостей по скоростям как лидирующего, так и ведомого автомобилей) необходимо сравнивать полученные поля на расстояниях 0 м и 50 м, а также 100 м и 150 м. На этих расстояниях точки лежат приблизительно одинаково с небольшим смещением влево при приближении к стоп-линии.

Таблица 1

Разбивка искомых зависимостей по скорости ведомого автомобиля на исследуемых расстояниях по скоростному и временному диапазонам

Расстояние до стоп-линии / № интервала	1-й интервал	2-й интервал	3-й интервал	4-й интервал	
при пересечении	по оси абсцисс	[5,48;6,40]	(6,40;7,66]	(7,66;9,76]	(9,76;12,33]
	по оси ординат	[1,04;1,27]	[0,88;1,19]	[0,80;1,09]	[0,75;0,97]
	количество вошедших точек	14	25	44	13
50 м	по оси абсцисс	[4,85;6,64]	(6,64;8,37]	(8,37;10,04]	(10,04;12,52]
	по оси ординат	[0,98;1,37]	[0,89;1,20]	[0,87;1,09]	[0,80;1,03]
	количество вошедших точек	35	26	17	16
100 м	по оси абсцисс	[7,71;9,94]	(9,94;12,42]	(12,42;15,64]	
	по оси ординат	[0,78;1,07]	[0,68;1,06]	[0,75;0,88]	
	количество вошедших точек	30	52	15	
150 м	по оси абсцисс	[9,34;12,15]	[9,48;12,96]	(12,96;16,51]	
	по оси ординат	[1;1,27]	[0,66;0,99]	[0,70;0,82]	
	количество вошедших точек	15	70	10	

Проанализировав таблицы можно заключить, что самое минимальное количество точек на каждом из расстояний входит в последние интервалы, то есть количество случаев попадания ведомого или лидирующего автомобилей в такие интервалы (с большими скоростями) минимально и не превышает 16.

При сравнении интервалов для обеих зависимостей по оси абсцисс на 0 м и 50 м, также как и на 100 м и 150 м видно, что правая граница каждого интервала на сравниваемых расстояниях сдвигается в сторону увеличения. Данное обстоятельство имеет место потому, что при приближении к стоп-линии средняя скорость как ведомого, так и лидирующего автомобилей уменьшается.

Также при анализе результатов табл. 1 можно заключить, что при приближении к РПК от 100 м до пересечения со стоп-линией левая граница каждого

интервала по оси ординат смещается в сторону увеличения от 0,78 до 1,04 (при сравнении первых интервалов), что говорит о том, что средняя величина временного интервала увеличивается. На остальных интервалах сравнение производится аналогично. Причем, если объединить первый и второй интервалы на расстоянии 150 м, то границы нового интервала будут следующими [0,66;1,27], что также подтверждает установленную гипотезу, даже, несмотря на то, что рассматриваемая зависимость на данном расстоянии отлична.

Таблица 2

Разбивка искомым зависимостей по скорости лидирующего автомобиля на исследуемых расстояниях по скоростному и временному диапазонам

Расстояние до стоп-линии	№ интервала	1-й интервал	2-й интервал	3-й интервал	4-й интервал
при пересечении	по оси абсцисс	[5,52;6,60]	(6,60;7,83]	(7,83;10,09]	(10,09;12,42]
	по оси ординат	[1,04;1,26]	[0,88;1,19]	[0,80;1,09]	[0,75;0,95]
	количество вошедших точек	13	25	45	12
50 м	по оси абсцисс	[5,09;6,66]	(6,66;8,34]	(8,34;10,66]	(10,66;12,78]
	по оси ординат	[1,06;1,43]	[0,96;1,31]	[0,83;1,14]	[0,80;1,03]
	количество вошедших точек	30	27	23	13
100 м	по оси абсцисс	[7,77;10,85]	(10,85;12,67]	(12,67;15,07]	
	по оси ординат	[0,78;1,07]	[0,68;0,94]	[0,75;0,88]	
	количество вошедших точек	44	35	16	
150 м	по оси абсцисс	[9,60;12,68]	[9,48;14,76]	(14,76;18,66]	
	по оси ординат	[1,04;1,27]	[0,66;1,01]	[0,74;0,82]	
	количество вошедших точек	12	78	6	

Анализ результатов табл. 2 показал, что при приближении к РПК от 100 м до 50 м левая граница каждого интервала по оси ординат смещается в сторону увеличения от 0,78 до 1,06, а при пересечении стоп-линии – опять уменьшается. На остальных интервалах смещение производится аналогично.

Проанализировав графики искомым зависимостей (и в том числе, представленного на рис. 1), можно сделать вывод о том, что при увеличении или уменьшении значений скоростей как ведомого, так и лидирующего автомобилей временной интервал между ними не изменяется, что обосновывает вид графиков – прямая, параллельная оси абсцисс.

Далее представляется возможным изучить размах точек по осям ординат и абсцисс для рассматриваемых зависимостей на каждом из расстояний с помощью результатов, приведенных в табл. 3 и 4.

Анализ результатов табл. 3 позволил сделать следующие выводы:



Таблица 3

Результаты исследования размаха параметров, характеризующих зависимость временного интервала от скорости ведомого автомобиля

Расстояние до стоп-линии	Параметр размаха					
	Временной интервал между автомобилями, с			Скорость ведомого автомобиля, м/с		
	Наименьшее значение параметра	Наибольшее значение параметра	Размах	Наименьшее значение параметра	Наибольшее значение параметра	Размах
При пересечении стоп-линии	0,75	1,27	0,52	5,48	12,33	6,85
50 м до стоп-линии	0,80	1,37	0,57	4,85	12,52	7,67
100 м до стоп-линии	0,68	1,07	0,39	7,71	15,64	7,93
150 м до стоп-линии	0,66	1,27	0,61	9,34	16,51	7,17

Таблица 4

Результаты исследования размаха параметров, характеризующих зависимость временного интервала от скорости лидирующего автомобиля

Расстояние до стоп-линии	Параметр размаха					
	Временной интервал между автомобилями, с			Скорость лидирующего автомобиля, м/с		
	Наименьшее значение параметра	Наибольшее значение параметра	Размах	Наименьшее значение параметра	Наибольшее значение параметра	Размах
При пересечении стоп-линии	0,75	1,26	0,51	5,52	12,42	6,90
50 м до стоп-линии	0,80	1,43	0,63	5,09	12,78	7,69
100 м до стоп-линии	0,68	1,07	0,39	7,77	15,07	7,30
150 м до стоп-линии	0,66	1,27	0,61	9,60	18,66	9,06

– на расстоянии 150 м до стоп-линии наблюдается большой размах точек по оси ординат, при этом он же относительно других расстояний по скорости невелик. Уже на следующей отсечке (100 м) размах по скорости имеет максимальное значение, причем зависимость временного интервала от скорости ведомого автомобиля имеет схожий вид на всех расстояниях кроме 150 м.

Поэтому можно заключить, что зависимость начинает формироваться на 100 м до стоп-линии;

- величина размаха по скорости ведомого автомобиля постоянно уменьшается при приближении к стоп-линии (от отметки 100 м и до пересечения стоп-линии);

- величина размаха по временному интервалу между автомобилями имеет синусоидальный характер на 100 м уменьшается по сравнению со 150 м, на 50 м увеличивается и при пересечении стоп-линии опять уменьшается.

Анализ результатов табл. 4 показал следующее:

- на расстоянии 150 м наблюдается большой размах точек по оси ординат, при этом он же относительно других расстояний по скорости также максимален;

- на отсечке 100 м размах по скорости значительно уменьшается, причем зависимость временного интервала от скорости лидирующего автомобиля опять же имеет схожий вид на всех расстояниях кроме 150 м. Поэтому можно также заключить, что и данная зависимость начинает формироваться на 100 м до стоп-линии;

- величина размаха по скорости лидирующего автомобиля и по временному интервалу имеет синусоидальную зависимость с максимумами на расстояниях 150 и 50 м по каждому из параметров.

Если совместить полученные результаты изучения диапазонов и величин размаха исследуемых параметров (по скоростям обоих автомобилей) со значениями статистических величин (полученных в ходе обработки выборок экспериментальных данных компьютерной программой кафедры ОАПДД БНТУ «Исследование распределения случайных величин») (табл. 5), то получим следующий вывод: *практически максимальные величины размаха, а также максимальные значения среднеквадратических отклонений и коэффициентов вариации на расстоянии 50 м в совокупности свидетельствуют о том, что с данного расстояния и до пересечения стоп-линии образуется зона с большой вероятностью столкновений с ударом сзади (в силу резкого изменения рассматриваемых параметров). Возможно, что именно в данной зоне располагается и искомая зона дилеммы.*

Далее, также наряду с исследуемой, приводятся результаты изучения зависимости дистанции в метрах между автомобилями от скоростей лидирующего и ведомого автомобилей (на данном этапе вводится и четвертый параметр – дистанция). Графики этих зависимостей и их характеристики, были построены (определены) с помощью графического пакета Origin Graph [1]. В табл. 6 и 7 представлены результаты обработки общих (без разделения на отдельные поля) зависимостей дистанции и временного интервала от мгновенных скоростей соответственно.

Ниже для примера приведен общий график зависимости временного интервала от скорости ведомого автомобиля при пересечении стоп-линии (рис. 2).



Таблица 5

Результаты исследования выборок по основным искомым параметрам

Наименование параметра/ показателя	Место измерения			
	При пересечении стоп-линии	На расстоянии 50м до стоп-линии	На расстоянии 100м до стоп-линии	На расстоянии 150м до стоп-линии
Скорость лидирующего автомобиля, м/с	Наилучший закон распределения	Эрланга	Логнормальное	Логнормальное
	Параметры наилучшего закона распределения	LAMBDA=2,85 K=240	LNU=2,06 SIGMA^2=0,067	LAMBDA=4,04 K=45,0
	Значение критерия Романовского	-0,46	3,59	-0,36
	Математическое ожидание, м/с	8,42	8,09	11,10
	Стандартное среднеквадратическое отклонение, м/с	1,73	2,12	1,65
	Коэффициент вариации	0,20	0,26	0,15
Скорость ведомого автомобиля, м/с	Наилучший закон распределения	Эрланга	Логнормальное	Логнормальное
	Параметры наилучшего закона распределения	LAMBDA=2,90 K=240	LNU=2,03 SIGMA^2=0,066	M=10,8 SIGMA=1,670
	Значение критерия Романовского	0,37	0,83	-0,45
	Математическое ожидание, м/с	8,27	7,84	10,80
	Стандартное среднеквадратическое отклонение, м/с	1,69	2,05	1,67
	Коэффициент вариации	0,20	0,26	0,15
Временной интервал между автомобилями, с	Наилучший закон распределения	Нормальное	Логнормальное	Логнормальное
	Параметры наилучшего закона распределения	M=0,981 SIGMA=0,138	LNU=0,059 SIGMA^2=0,023	LNU=0,148 SIGMA^2=0,009
	Значение критерия Романовского	-0,07	1,07	0,19
	Математическое ожидание, м/с	0,98	1,07	0,87
	Стандартное среднеквадратическое отклонение, м/с	0,14	0,16	0,08
	Коэффициент вариации	0,14	0,15	0,10

Таблица 6

Определение параметров, характеризующих зависимости дистанции от скоростей

Виды зависимости		Расстояние до стоп-линии	Параметры, характеризующие зависимость			
			Коэффициент корреляции	Критерий Стьюдента	Критерий Фишера	Уравнение регрессии
Зависимость дистанции	от скорости лидирующего автомобиля	при пересечении стоп-линии	0,65	8,47	72,58	$Y=4,76+0,376X$
		50 м до стоп-линии	0,83	14,73	222,83	$Y=3,87+0,531X$
		100 м до стоп-линии	0,79	12,76	162,15	$Y=2,21+0,639X$
		150 м до стоп-линии	0,54	6,35	41,28	$Y=4,38+0,474X$
	от скорости ведомого автомобиля	при пересечении стоп-линии	0,64	8,25	69,03	$Y=4,82+0,377X$
		50 м до стоп-линии	0,83	14,73	215,87	$Y=3,87+0,548X$
		100 м до стоп-линии	0,80	13,20	169,64	$Y=2,40+0,639X$
		150 м до стоп-линии	0,51	5,87	34,59	$Y=4,70+0,458X$

Таблица 7

Определение параметров, характеризующих зависимости временного интервала от скоростей

Виды зависимости		Расстояние до стоп-линии	Параметры, характеризующие зависимость			
			Коэффициент корреляции	Критерий Стьюдента	Критерий Фишера	Уравнение регрессии
Зависимость временного интервала	от скорости лидирующего автомобиля	при пересечении стоп-линии	0,77	11,95	145,18	$Y=1,55-0,073X+0,001X^2$
		50 м до стоп-линии	0,70	9,70	93,11	$Y=1,70-0,101X+0,003X^2$
		100 м до стоп-линии	0,33	3,46	11,79	$Y=1,34-0,069X+0,002X^2$
		150 м до стоп-линии	0,32	3,34	11,15	$Y=-0,06+0,246X-0,019X^2+0,0005X^3$
Зависимость временного интервала	от скорости ведомого автомобиля	при пересечении стоп-линии	0,79	12,76	163,76	$Y=1,59-0,082X+0,001X^2$
		50 м до стоп-линии	0,75	11,22	123,02	$Y=1,84-0,134X+0,004X^2$
		100 м до стоп-линии	0,42	4,58	20,71	$Y=1,87-0,198X+0,013X^2-0,0003X^3$
		150 м до стоп-линии	0,40	4,32	18,88	$Y=1,45-0,067X+0,001X^2$

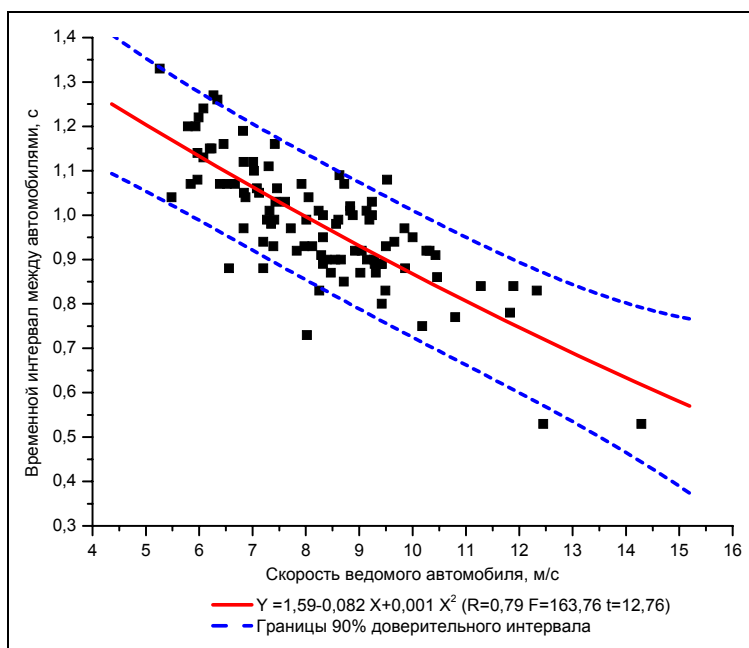


Рис. 2. Распределение зависимостей временного интервала от скорости ведомого автомобиля при пересечении стоп-линии

Помимо предположения о форме регрессионной зависимости между исследуемыми случайными величинами требуется также оценить, насколько удачно выбранное уравнение регрессии объясняет (предсказывает) существующую зависимость между величинами. Основной числовой характеристикой, определяющей меру линейной регрессионной зависимости между величинами, то есть, ее близость к линейной функциональной зависимости, является коэффициент корреляции. Его оценка является случайной величиной, так как для различных выборок одной и той же пары величин она может принимать различное значение. Поэтому необходимо проверять значимость отличия оценки коэффициента от нуля [3].

Проверка значимости позволяет сделать вывод либо о существенности описания зависимости уравнением регрессии, либо о том, что данное уравнение практически никак не определяет существующую зависимость между случайными величинами.

Чтобы сделать статистический вывод о значимости оценок и о состоятельности уравнения регрессии необходимо сравнить полученные значения критериев Стьюдента и Фишера с табличными значениями [4].

По результатам анализа параметров в табл. 6 и 7 можно сделать следующие выводы:

– по мере приближения к стоп-линии оценки коэффициентов корреляции указывают на наличие средней (150 м), тесной (100 и 50 м) и опять средней



(при пересечении стоп-линии) линейных зависимостей между дистанцией и скоростями (табл. 6);

– по мере приближения к стоп-линии оценки коэффициентов корреляции указывают на наличие умеренной (150 и 100 м) и тесной (50 м и при пересечении стоп-линии) линейных зависимостей между временным интервалом и мгновенными скоростями (табл. 7);

– оценив значимость критериев Стьюдента и Фишера, приходим к выводу, что все полученные уравнения можно использовать в дальнейших исследованиях;

– большой размах между значениями параметров на расстояниях 50 м и при пересечении стоп-линии показывает на особенность и специфичность этой зоны, *поэтому можно предположить, что именно в ней находится инертная зона дилеммы* (табл. 6);

– по мере приближения к стоп-линии динамика всех параметров, характеризующих зависимость временного интервала от скоростей, становится значительнее. Это характеризует повышенную чувствительность временного интервала к мгновенным скоростям как лидирующего, так и ведомого автомобилей, что, в свою очередь, показывает на опасность применения резкого торможения.

В заключение: дальнейшие исследования по определению местоположения инертной зоны дилеммы на опытном РПК показали правильность выдвинутой гипотезы: при 5 м/с зона дилеммы составляет примерно 18,5 м, а при – 13 м/с (по скорости лидирующего автомобиля) около 17 м и располагается как раз в предполагаемой зоне (расчеты были выполнены для следующих параметров: величины служебного и аварийного замедлений равны 3,28 м/с² и 8,10 м/с² соответственно) [5].

Библиографические ссылки

1. Ходоскин Д. П. Методика измерения мгновенной скорости лидирующего и ведомого автомобилей и дистанции между ними. Оценка полученных результатов. / Д. П. Ходоскин. Вестник Белорусского Государственного Университета Транспорта №2 / 2010. Научно-практический журнал. Изд-во УО «БелГУТ», г. Гомель, 2010 г. – С. 27-32.
2. Ходоскин Д. П. Определение дистанции между автомобилями следующими в попутном направлении и их мгновенных скоростей. Построение зависимостей между данными параметрами. / Д. П. Ходоскин. Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : межд. сб-к науч. трудов / под ред. П. А. Пегина. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2010 г. – № 10. – С. 278-286.
3. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). / Г. Корн, Т. Корн. Изд-во «Наука» под общ. ред. И.Г. Арамановича. М.: 1974 г. – 832 с.
4. Шевченко Д. Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб-метод. пособие для студентов электротехнических специальностей. / Д. Н. Шевченко. Изд-во УО «БелГУТ», г. Гомель, 2006 г. – 318 с.
5. Ходоскин Д. П. Влияние величины переходного интервала на аварийность в попутном потоке. / Д. П. Ходоскин. Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: материалы XVII Межд. науч.-практ. конф. / науч. ред. С.А. Ваксман. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2011 г. – С. 196-201.